

# Význam a přínos bezobslužných dopravních systémů

**Ing. Jiří Pohl, Siemens Mobility s.r.o.**

VUT Brno | 31. 10. 2023

# Proměna lidské práce

## Tomáš Baťa:

Strojům dřinu, lidem myšlení.

## Průmysl 4.0:

Strojům rutinní manuální či duševní práci (neboť ji dělají kvalitněji a levněji než lidé), lidem tvořivou manuální či duševní práci (neboť ji dělají kreativněji než stroje).

## Realita 21. století:

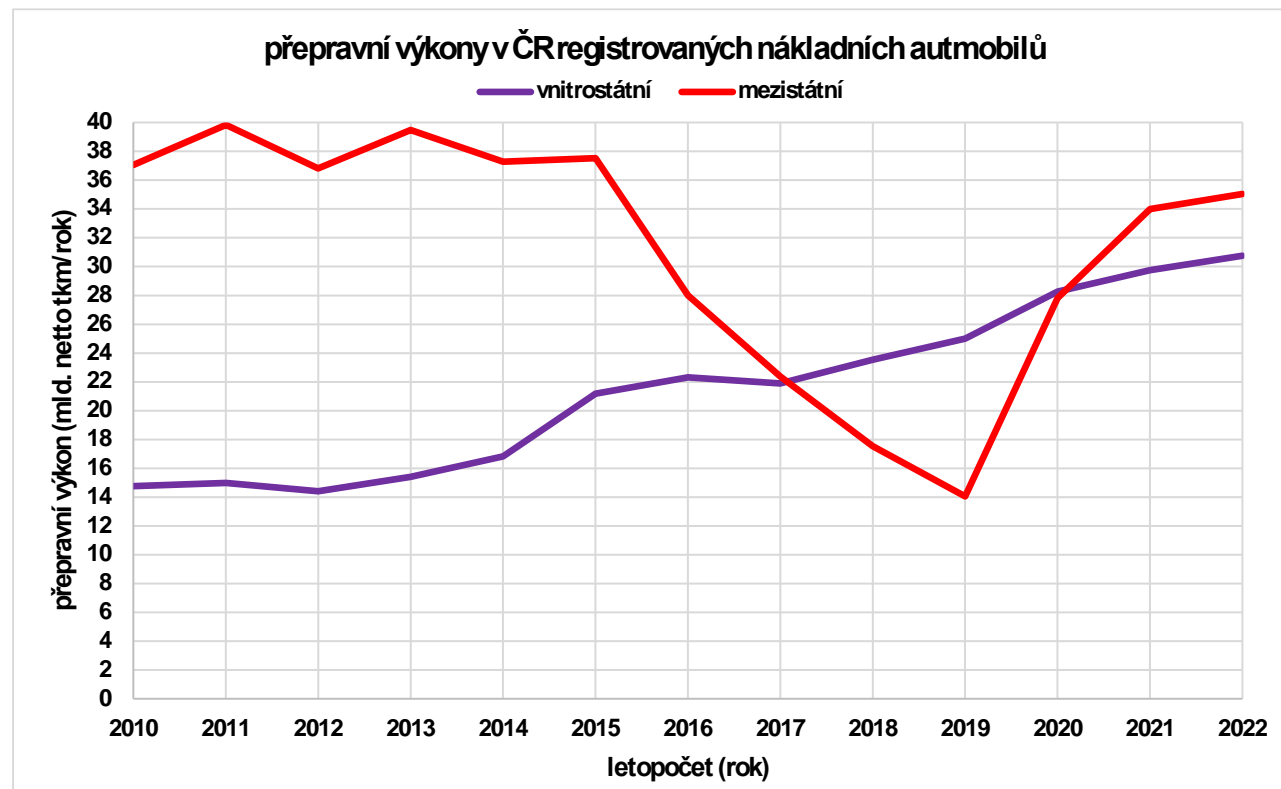
- rostou nároky obyvatelstva na kvalitu veřejné dopravy s vysokou četností spojů (klesá ochota čekat),
  - klesá počet práce schopného respektive práce ochotného obyvatelstva,
  - klesá zájem obyvatelstva vykonávat náročná a odpovědná povolání v dopravním provozu.
- => silná společenská poptávka po automatickém provozu vozidel.

## Dálková nákladní automobilová doprava

V době povinné **základní vojenské služby** získávalo každým rokem v ČR mnoho tisíc mladých mužů v jejím průběhu kvalifikaci, praxi i oprávnění **řidiče nákladního automobilu i autobusu**.

Při transformaci průmyslu přišlo mnoho z nich **po roce 1990** o své původní zaměstnání, stali se řidiči nákladních automobilů. Po roce 2015 však v důsledku odchodu silných ročníků 1950 až 1960 do starobního důchodu vznikl v ČR velký **deficit řidičů** dálkových nákladních automobilů. V průběhu pouhých 4 let 2015 až 2019 klesly z důvodu nedostatku řidičů přepravní výkony v ČR registrovaných nákladních automobilů v **mezistátní dopravě o 63 %**. Dopravci měli automobily, ale chyběli jim řidiči ochotní k dálkovému cestování.

Personální situaci v mezistátní nákladní automobilové dopravě nečekaně vyřešil **Covid 19: řidiči autobusů** uvolnění z omezené MHD odešli pracovat k autodopravcům a umožnili oživení mezistátní nákladní automobilové dopravy.

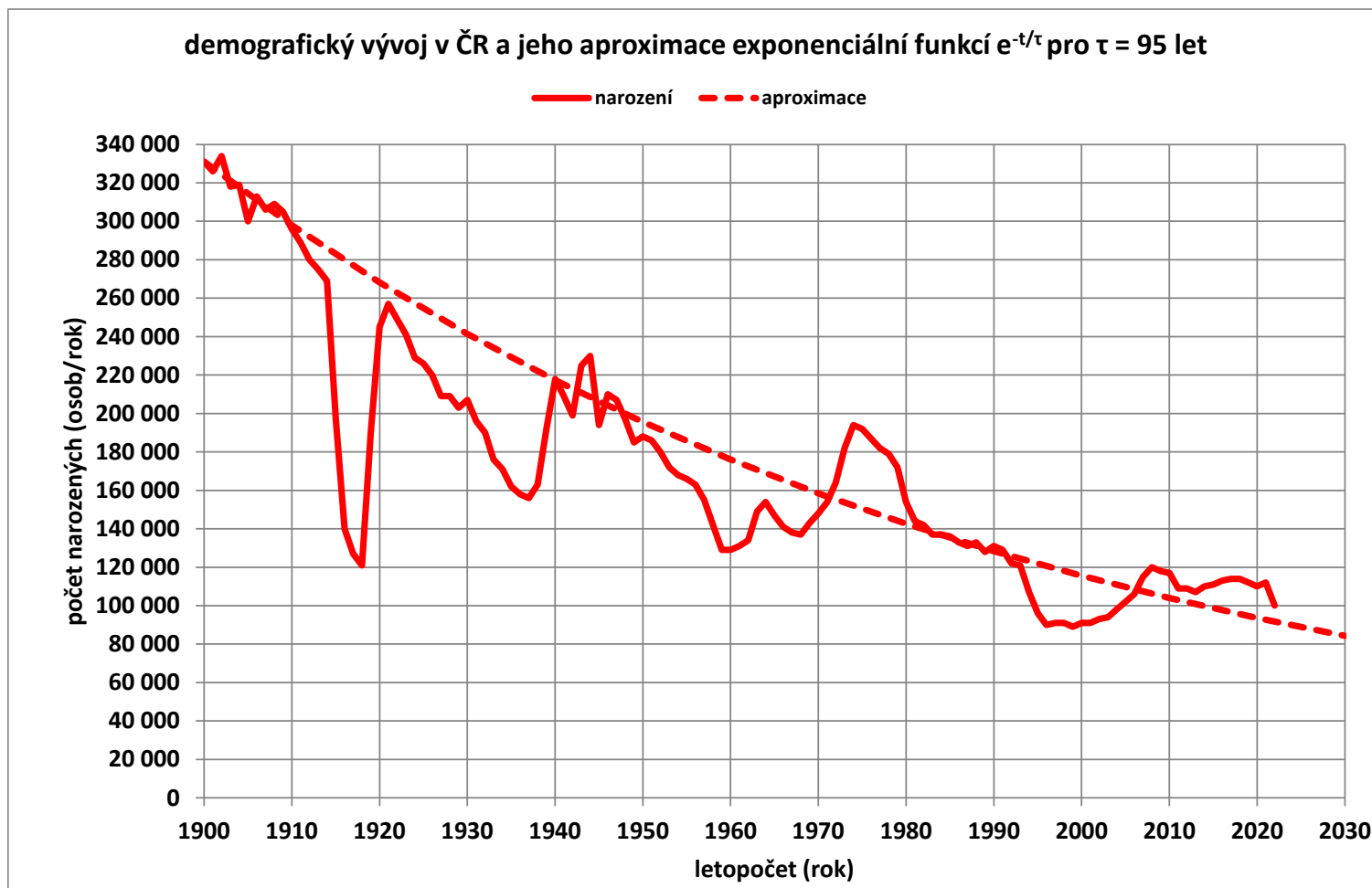


## Demografický vývoj

Růst životní úrovně lidí je v kontrastu s ostatními živočichy provázena **poklesem rozmnožovací schopnosti**, respektive rozmnožovací ochoty.

V ČR lze vývoj porodnosti aproximovat **útlumovou exponenciálou** s časovou konstantou necelých 100 let, na které je superponována odložená porodnost **z období 1. světové války** (návrat části mužů z fronty), která se odstupem cca 25 let periodicky opakuje (silné ročníky 197X nejsou Husákovi dětmi, ale pravnučky legionářů).

Pokles rozmnožovací schopnosti, respektive rozmnožovací ochoty obyvatelstva je příčinou nejen nestability důchodového pojištění založeném na principu mezigenerační solidarity, ale zejména **nedostatkem mladých lidí**, potenciálních pracovních sil, se kterými je proto nutno **uvážlivě hospodařit**.



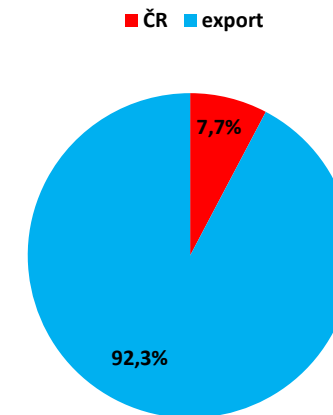
# Výroba a užití osobních automobilů v ČR

Výroba osobních automobilů v ČR a užití osobních automobilů v ČR jsou dvě různé kategorie.

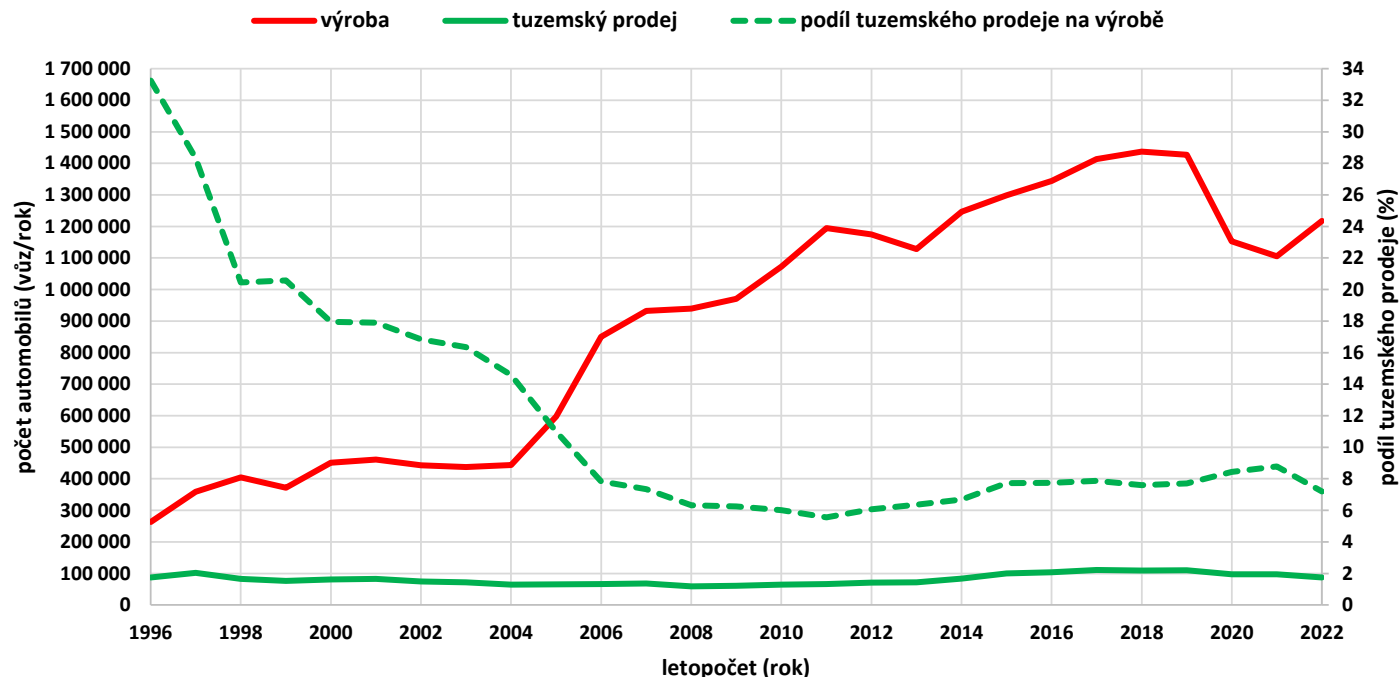
Výroba osobních automobilů v ČR mnohonásobně **převyšuje tuzemskou potřebu**, je výrazně exportně orientována.

Pokud má automobilový průmysl uspět ve světové soutěži, potřebuje **zvýšit svou inovativní schopnost**, a to počínaje vyšší vzdělaností.

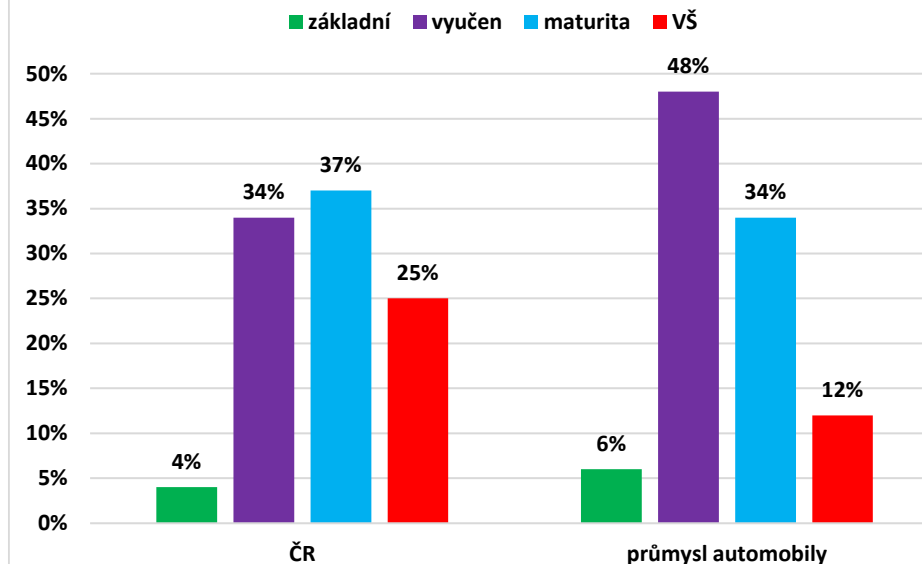
uplatnění osobních automobilů vyrobených v ČR v roce 2019 (1 427 563 vozů)



výroba osobních automobilů v ČR (zdroj: Autosap)



struktura kvalifikace zaměstnanců v ČR

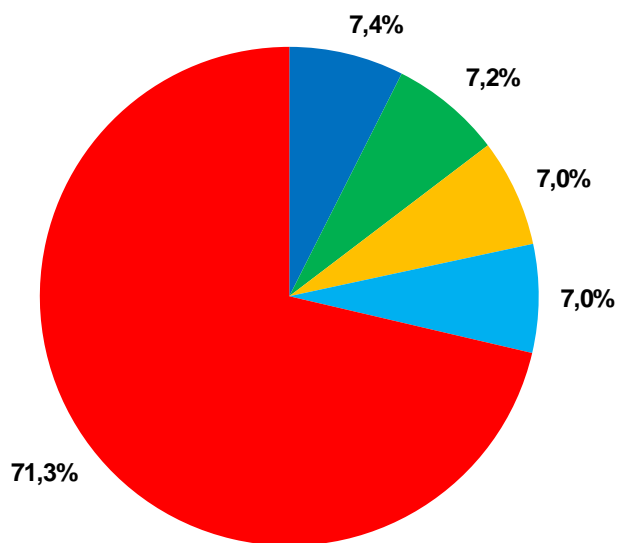


## Individuální automobilová doprava

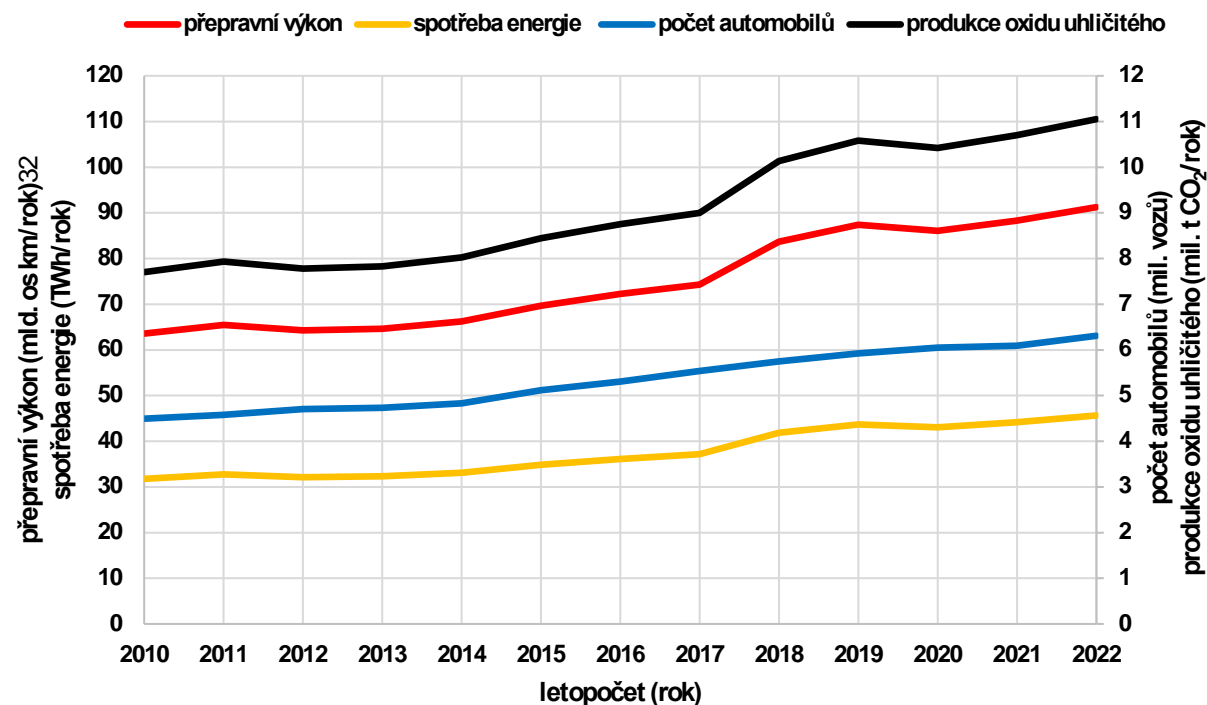
Dominantním druhem přepravy osob je v ČR individuální automobilová doprava (IAD).

IAD vytrvale **extenzivně roste**, rok od roku dosahuje **vyšších dopravních i přepravních výkonů**. Ale též **vyšší spotřeby energie**, zejména **importovaných fosilních paliv**, a **emisí oxidu uhličitého**. Spalováním fosilních paliv produkují v ČR osobní automobily více oxidu uhličitého (11 mil. t CO<sub>2</sub>/rok) než průmysl (8 mil. t CO<sub>2</sub>/rok). To není udržitelné, systémová změna je nutností.

struktura přepravních výkonů osobní dopravy v ČR v roce 2022



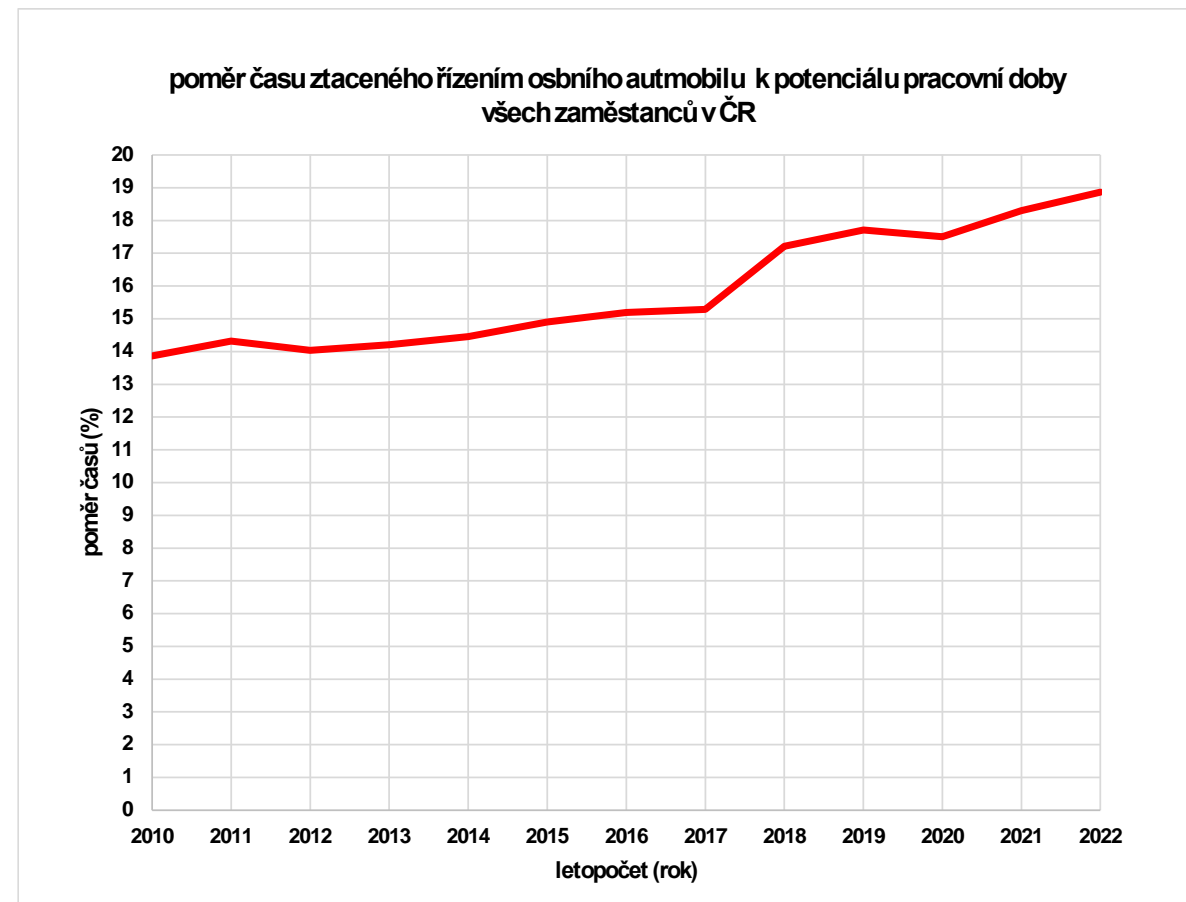
individuální osobní automobilová doprava v ČR



# Časová náročnost řízení automobilů

Ačkoliv jsou automobily vnímány jako prvek svobody, zaměstnávají řízením občany ČR po dobu 1,5 mld. hodin ročně. To je ekvivalent téměř 20 % ročního potenciálu pracovní doby všech zaměstnanců v ČR. **Zaneprázdnění obyvatelstva řízením automobilu je srovnatelné s šestidenním pracovním týdnem (práce i v sobotu).**

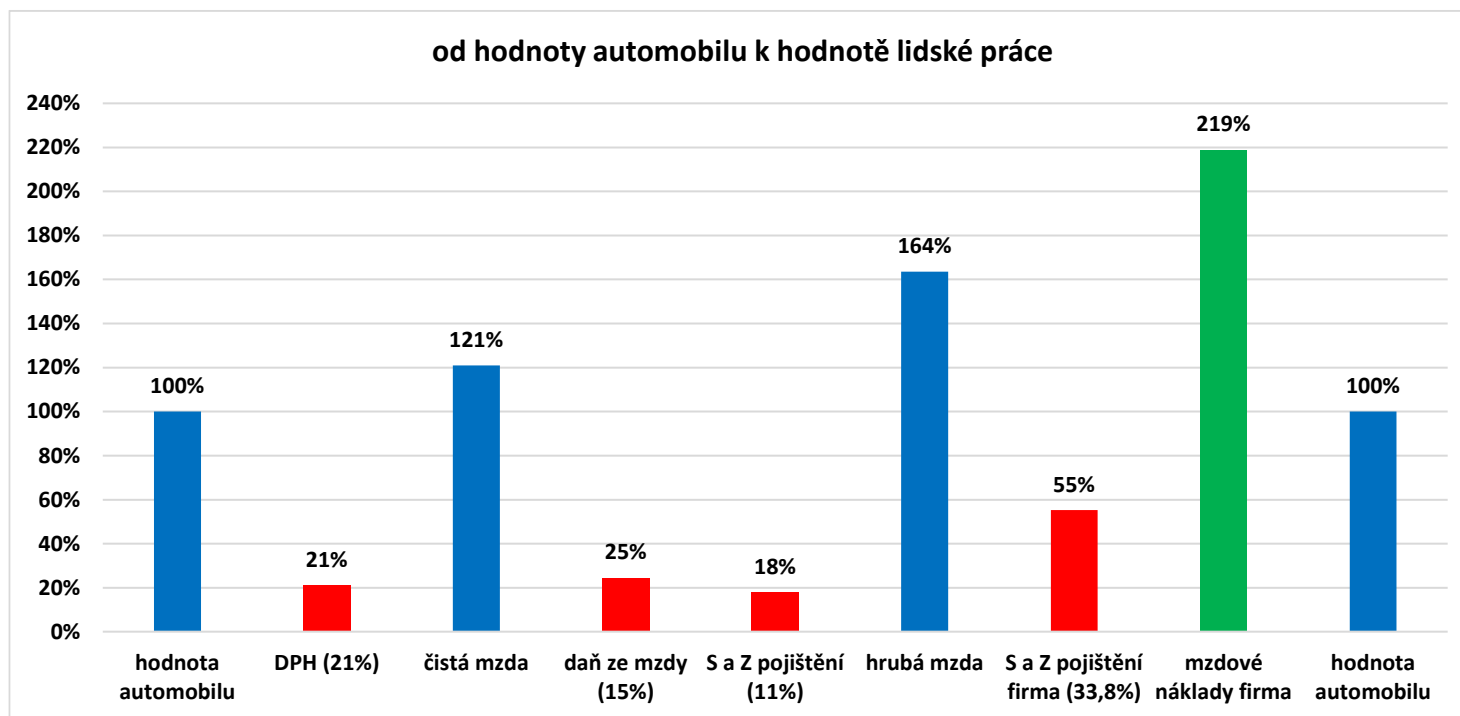
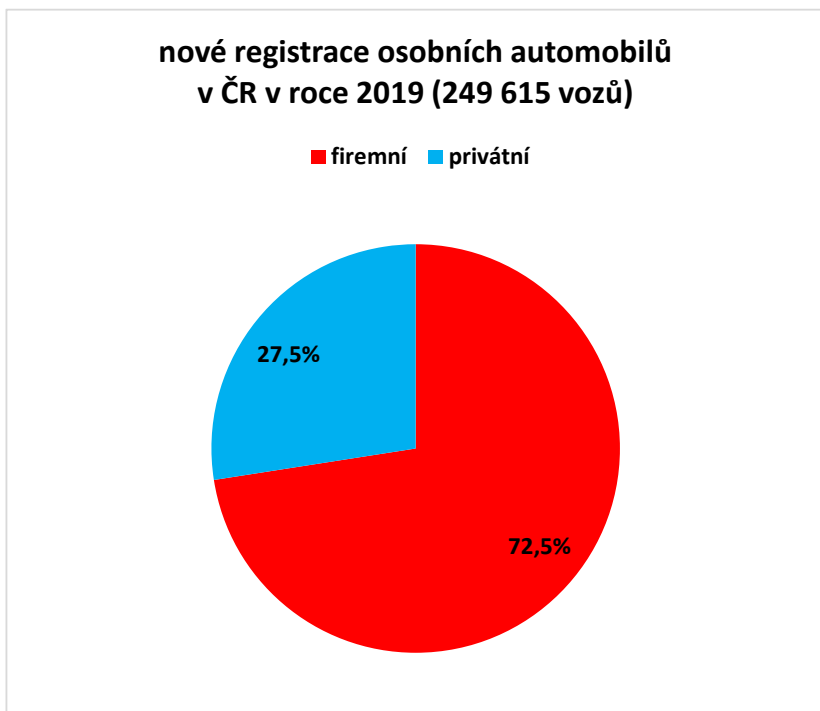
To je v hierarchii hodnot mladé generace jeden z důvodů, proč netouží po vlastnictví a řízení osobního automobilu, proč preferují jízdu veřejnou hromadnou dopravou, při které neztrácejí čas řízením a mohou se věnovat virtuální komunikaci.



## Firemní flotily

V průběhu posledních let v ČR významně **poklesl nákup nových osobních automobilů fyzickými osobami**, kolem 75 % nových osobních automobilů **nakupují firmy**. Pro fyzické osoby jsou nové automobily **příliš drahé**, lidé nejsou ochotni dávat **roční mzdu za předmět, využívaný jen 39 minut denně** a rychle stárnoucí, orientují se na **second hand** vozy.

Firmy nakupují osobní automobily pro služební účely velmi výhodně, za méně než polovinu mzdových nákladů potřebných pro nákup téhož automobilu zaměstnancem. Účetně je odepisují velmi intenzivně (5 let), což vytváří trh použitých vozidel.



V rámci nových standardů ESG budou od roku 2025 firmy **započítávat jimi využívanou dopravu** do uhlíkové stopy organizace podle ISO 14 064 i do uhlíkové stopy produktu podle ISO 14 067. To výrazně posune jejich zájem o bezemisní mobilitu.



# Pracovní režim osobního automobilu v ČR

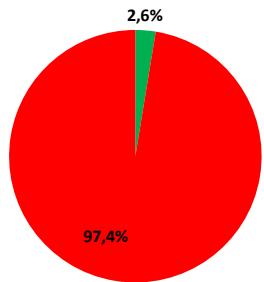
Využití kapitálu několika bilionů Kč vloženého institucemi a občany ČR do pořízení 6,3 milionu osobních automobilů je velmi nízké. Pokud by byly všechny automobily stále v provozu a plně obsazené a stále v provozu, stačilo by jich 140krát méně.

Česká republika 2022

přeprava osob	mil. osob/rok	2 822
převážní výkon	mld. os km/rok	91
střední přepravní vzdálenost	km	32
střední obsazení	osob/vůz	1,3
střední obsazení	%	26
dopravní výkon	mld. voz km/rok	70
počet registrovaných automobilů	vůz	6 305 934
spotřeba energie	TWh/rok	46
produkce emisí oxidu uhličitého	mil. t CO <sub>2</sub> /rok	11
roční proběh automobilu	km/rok	11 131
denní proběh automobilu	km/den	30
denní doba provozu automobilu	hh:mm	0:39
denní doba nečinnosti automobilu	hh:mm	23:20
poměrná doba využití automobilu	%	2,7
poměrná doba nečinnosti automobilu	%	97,3

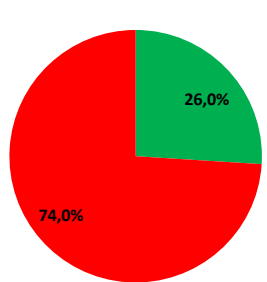
doba využití automobilu

■ provoz ■ parkování



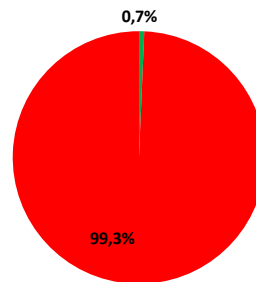
obsazení automobilu

■ obsazená místa ■ volná místa



celkové využití automobilu

■ využito ■ nevyužito



- osobní automobil je v ČR v průměru **obsazen 1,3 osobami a denně ujede 30 km.**
  - osobní automobil je v ČR v průměru **provozován jen 39 minut, zbylých 23 hodin a 21 minut je nečinný a překáží.**
- ⇒ využití investice vložené do pořízení osobních automobilů je velmi nízké,
- ⇒ lidé ztrácejí ochotu respektive schopnost nakupovat nové osobní automobily, jeví se jim ve vztahu k jejich užitné hodnotě příliš drahé.

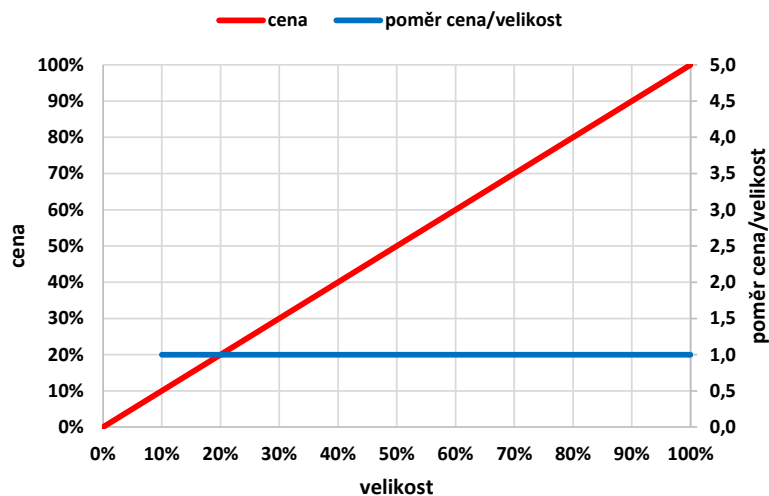
# Malé levné automobily? Nikoliv, systémové změny

Společenská poptávka a její řešení

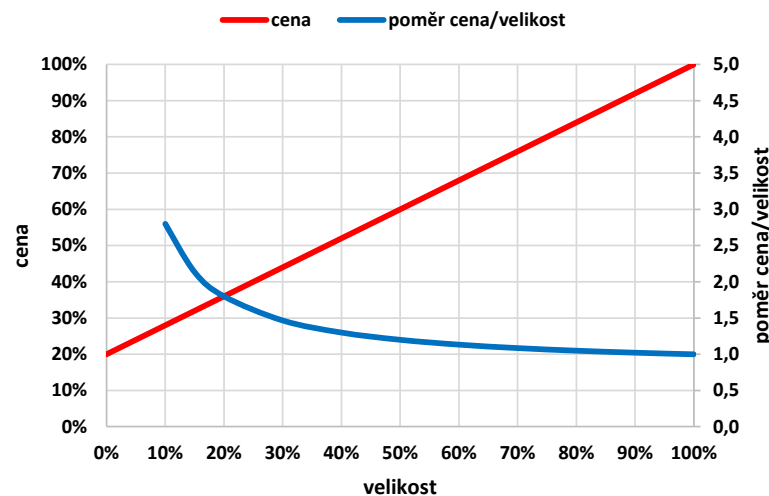
- všeobecný požadavek: radikálně **snížit externí náklady automobilové dopravy** (nehody, hluk, poškozování životního prostředí, nevratné změny klimatu, zdraví škodlivé emise, znehodnocování nemovitostí, znehodnocování živností, znehodnocování měst, ...),
- odezva: **produktové inovace** vedou od jednoduchých automobilů přes složité automobily k **systémovým automobilům**,
- specifický požadavek: zachraňte individuální automobilovou dopravu, vytvořte **malý levný automobil pro každého** (emotivní idea návratu ke kořenům: Henry Ford, Volkswagen = lidový vůz, ...)
- realita: lze vytvořit malý automobil, ale **nebude levný**, neboť cena systémového produktu neklesá přímo úměrně s jeho velikostí. Malé automobily průmysl nevytváří a nenabízí, neboť by pro uživatele měly nevýhodný poměr cena/velikost, byly by málo prodejné.

=> řešení: **systémová změna** v podobě náhrady individuální automobilové dopravy **dopravou jako služba** (MaaS – Mobility as a Service), kombinací **veřejné hromadné** dopravy a **veřejné individuální** dopravy.

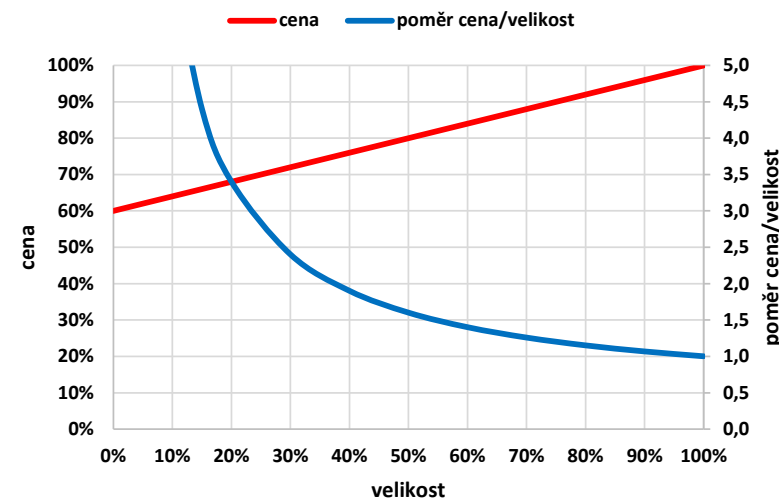
jednoduchý produkt



složité produkt



systémový produkt



## Vize Boba Lutze

Významný americký automobilový konstruktér **Bob Lutz** popsal již před několika lety ve svém známém článku, uveřejněném v magazínu Automotive News, **vizi budoucnosti automobilového průmyslu**:

- skončí epocha používání spalovacích motorů v automobilech, automobily budou **výhradně elektrické**,
- bude vyvinut a široce zaveden **systém automatického řízení automobilů**.
- v praxi se ukáže, že automatické řízení automobilů **je bezpečnější, než řízení automobilů lidmi**. Zákonodárci nedovolí lidem řídit automobily,
- automatické automobily nebudou lidé **vnímat jako majetek, ale jako službu** (skončí emoční pouto),
- vysoká technická náročnost a potřeba interoperability povedou k unifikaci automobilů, **zanikne jedinečnost značek**.

**Automatické řízení automobilů a náhrada vlastnictví automobilů službou** (Aristoteles: bohatství není ve vlastnictví, bohatství je v užití) spolu úzce souvisejí:

- automatické automobily s kvalitním HW a SW vybavením **nebudou levné**, k docílení **ekonomické efektivity** nemohou být využívány jen několik desítek minut denně, musí být produktivněji využity, je potřeba, aby **sloužily více osobám**,
- pokud má automobil **sloužit více osobám**, musí být i z důvodu přesunu k jinému uživateli schopen **automatického (bezobslužného) provozu** (ano, za cenu prázdných jízd, ale s efektem zásadního snížení ploch blokových parkování).

Na nyní již finálně probíhající trend náhrady **spalovacích** automobilů **elektrickými** naváže trend **autonomních sdílených automobilů**. Moderní automobil nemá spalovací motor, volant ani vlastníka. Je prostředkem **veřejné individuální dopravy**.

# Automatizace silniční dopravy

Automatizace **silniční dopravy** ve srovnání s automatizací **kolejové dopravy** mnohem **rozsáhlejší a náročnější úlohou**.

Primárně je to dáno **rozsahem dopravní sítě**:

- metro v ČR: 65 km,
- tramvaje v ČR: 352 km,
- veřejné železnice v ČR: 9 521 km
- silnice a místní komunikace v ČR: 130 781

Respektive i **počtem účastníků dopravního provozu**:

- metro v ČR: 730 vozidel,
- tramvaje v ČR: 1 601 vozidel,
- veřejné železnice v ČR: 3 339 trakčních vozidel
- silnice a místní komunikace v ČR: 6 305 934 osobních automobilů, 751 604 nákladních automobilů, 20 828 autobusů, 1 266 945 motocyklů, 10 759 500 chodců

Tyto zásadní kvantitativní odlišnosti jak na straně rozsahu dopravní sítě, tak na straně účastníků dopravního provozu vedou k **princiálně odlišnému pojetí bezobslužného provozu** v kolejové dopravě a v silniční dopravě:

- kolejové dopravě jde o **hierarchicky uspořádaný systém centralizovaného automatického řízení**, založený na **komunikaci** jednotlivých účastníků dopravního provozu s **řídící centrálou**, která dává jednotlivým vozidlům oprávnění k jízdě po zabezpečené dráze,
- v silniční dopravě jde o **decentralizovaný systém**, jednotlivá vozidla řídí svůj pohyb po nezabezpečené dráze **autonomně na základě monitorování** svého okolí.

## Distribuce nebezpečí

Ve srovnání s kolejovou dopravou je automatizace řízení silničních vozidel **náročnější úlohou**. A to jak z technického hlediska, tak zejména z etického a právního hlediska.

Silniční vozidlo **není** na rozdíl od kolejového vozidla **pevně vedeno** ve směru osy x. Proto má kromě možnosti volby zrychlení/zpomalení podélného pohybu ve směru osy x též druhý stupeň volnosti, **dokáže změnit směr jízdy**.

Schopnost změnit směr jízdy výrazně komplikuje **řešení kritických situací (nehod)**. Řídicí systém vozidla musí řešit zásadní rozhodovací mechanismus: jak (kam) změnit směr jízdy v případě spatření překážky. Senzory jsou schopny překážku rozpoznat, počítač je schopen v reálném čase propočítat důsledky mnoho různých scénářů změny směru. Ale řídicí systém vozidla musí se ve zlomku sekundy nevratně rozhodnout o **distribuci nebezpečí**. Koho poškodí, koho zachrání. To není jednoduché, distribuce nebezpečí je závažným technickým, a právním a především **etickým** tématem.

Intuitivně jednající člověk (řidič) nemá schopnost objektivně vyhodnotit a řešit krizovou situaci, automat, respektive jeho tvůrce, však ano. Jak bude tato schopnost automatickým vozidlem využívána? K **ochraně svého vlastníka**, k minimalizaci jeho poškození, nebo **k ochraně ostatních**, k minimalizaci celkové škody?

Automatická auta budou bezpečnější než lidmi řízená vozidla, jejich tvůrci zvládnou i téma distribuce nebezpečí. Ale nebude to snadné. Pro distribuci nebezpečí budou muset vzniknout **normativní standardy i systémy kontroly**. Po zkušenostech s oblibou vysokého stupně pasivní bezpečnosti (SUV v městském provozu), podvodnými SW, i s hackerskými útoky, budou odpovědní činitelé hodně opatrní.

# Systemová výhoda kolejové dopravy při automatizaci řízení vozidel: směrové vedení

V průběhu vývoje techniky byly postupně objevovány a využívány mnohé výhody kolejové dopravy:

- již staří Římané využívali dlážděnou kolej k **nesení vozidel**, tedy k docílení **nízkého valivého odporu** s cílem **snížit energetickou náročnost** dopravy. To bylo postupem dalšího vývoje dovedeno do podoby **ocelových kol a ocelových kolejnic**,
- v roce 1777 využil John Curr kolej ke směrovému **vedení vozidel** (princip okolku),
- V roce 1872 využil William Robinson elektrickou vodivost ocelových kolejnic k **detekci volnosti koleje** – princip kolejových obvodů,
- v roce 1879 využil Werner Siemens kolej k **elektrickému napájení vozidel** (zpětné trakční vedení),
- v roce 1895 využila společnost Siemens se zemí spojené ocelové kolejnice k **bezpečnému elektrickému napájení vozidel vysokým napětím**,
- v roce 1903 využila Studijní společnost pro vysokorychlostní elektrickou železnici kolej k vedení **dlouhých štíhlých vlaků s nízkým aerodynamickým odporem** (princip energeticky úsporné vysokorychlostní železnice)
- v roce 1974 využila společnost Matra **pevného směrového vedení** vozidla kolejí k vytvoření **bezobslužného dopravního systému**.

Pro **automatizaci kolejové dopravy** je jak z technického, tak zejména z etického a právního hlediska, velice podstatná skutečnost, že **kolej vede vozidlo ve směru osy x**. Algoritmus automatického řízení vozidel kolejové dopravy tedy v zásadě řeší **jednoduchý rozhodovací algoritmus**, neboť jde o systém s **jedním stupněm volnosti**, a to pohybem ve směru osy x:

- na trati **není detekována překážka**: vlak jede energeticky **optimálně podle jízdního řádu**, pokud vlak nemá zpoždění, nebo **co nejrychleji**, pokud má vlak zpoždění, aby jej vyrovnal,
- na trati **je detekována překážka**: je aktivováno **nucené brzdění** do zastavení.

Je všeobecně respektováno, že **rozhodnutí o intenzivním nuceném brzdění je volbou bezpečného stavu** (pochopitelně v součinnosti s tématem požární bezpečnosti a evakuace).

Z hlediska rozhodovacích procesů je zásadní výhodou kolejové dopravy **absence možnosti změny směru jízdy** vozidla. Tím **odpadá potřeba**, respektive nutnost, řešit technicky, právně a eticky náročnou úlohu **distribuce nebezpečí**. Tato skutečnost urychlila rozvoj bezobslužných systémů v kolejové dopravě **o desítky let** před dopravou silniční.

## Metro

Metro (městská železnice, podle zákona o dráhách č. 266/1994 Sb. železniční dráha speciální) klade **vysoké nároky na bezpečnost**, zejména při podpovrchovém provozu (tunely) a při nadpovrchovém provozu (estakády), což je dáno řadou objektivních důvodů:

- vysoká četnost jízdy vlaků v krátkém intervalu,
- velký počet přepravovaných osob,
- obtížná evakuace,
- obtížný přístup záchranných složek,
- únavný monotónní provoz,
- omezené rozhledové poměry, krátká viditelnost,
- požární nebezpečí (tunely),
- elektrické nebezpečí (přívodní kolejnice),

Zákon o dráhách č. 266/1994 Sb. požaduje na dráhách speciálních (metro) **vyšší úroveň zabezpečení jízdy vlaků** než na dráhách celostátních s rychlostí jízdy do 160 km/h, a to **vlakový zabezpečovač (ATP) s kontrolou rychlosti**.

## Automatizace metra

Systemy metra se staly **předvojem automatizace železniční dopravy**, a to z více objektivních důvodů:

- automatizace provozu je **velmi potřebná**, v dopravní systému fungujícím se sekundovou přesností je závislost na lidském činiteli nežádoucí,
- ohraničenost systému a monotónní **provoz jediné kategorie vlaků dopravovaných jednotnými vozidly** usnadňují uchopitelnost a řešitelnost automatizace dopravního provozu,
- **nevelký rozsah samostatného provozního souboru** (zpravidla: linka), unitárnost (provozovatel dráhy je zároveň i dopravcem) a nepotřeba řešení síťovosti a interoperability.

Ve srovnání s mnohonásobně pestřejším složitějším prostředím veřejných železnic (například v evropské dimenzi), tvořícím **plošně rozsáhlou síť** vyžívanou **mnoha dopravci pro mnoho typů vlaků a vozidel**, na které jsou stále využívány i sto let staré zabezpečovací systémy, umožnily ostrovní systémy metra svojí menší velikostí a flexibilitou velmi dynamický rozvoj automatických systémů pro zabezpečení a řízení železnice.

Tento vývoj proběhl v posledních desetiletích minulého století a jeho výsledkem jsou celosvětové spontánní trendy:

- na komunikaci založeného zabezpečení (CBTC),
- bezobslužného provozu (GoA4).

Obě tyto technologie již jsou standardem. Jsou celosvětově aplikovány jak při výstavbě nových tras metra, tak při upgrade starších již existujících systémů metra. A to **včetně Prahy** (viz nová **linka D** a následně i **linka C** a další linky).



## Stupně automatizace

Zabezpečení jízd vlaků metra systémem CBTC se v krátké době stalo celosvětovým trendem. Spolu s kvalitativně vyšší technikou zabezpečení jízdy vlaků přišla do provozu linek metra i automatizace jízdy vlaků. V rychlém vývojevém tempu prošla všemi čtyřmi stupni automatizace GoA 1 až GoA 4 (**Grade of Automation**) podle **IEC 60050-821**:

GoA 1 – ATP,

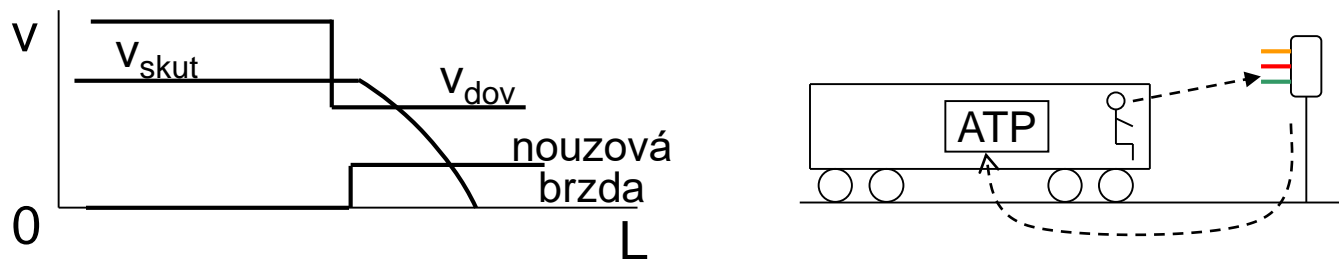
GoA 2 – ATP + ATO **se strojvedoucím**,

GoA 3 – ATP + ATO **bez strojvedoucího**, ale s přítomností pracovníka dopravce ve vlaku,

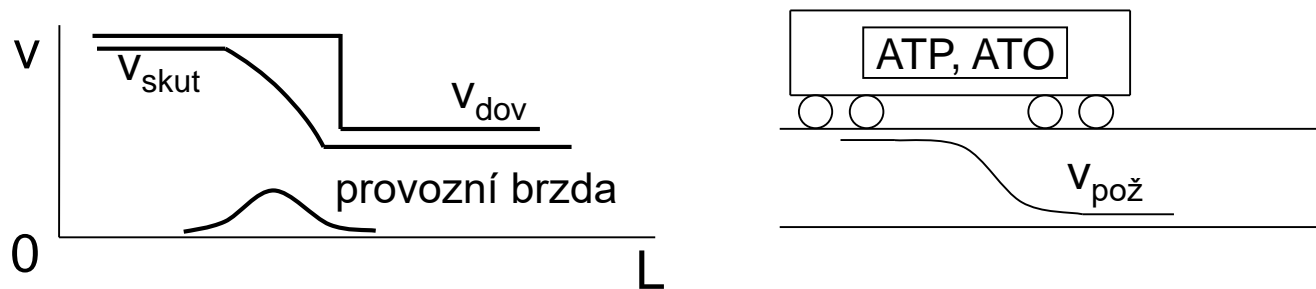
GoA 4 – plně automatizovaný **bezobslužný provoz**.

## Automatizace metra: GoA 1, GoA 2

GoA 1: Monotónní rychlý provoz v těsném sledu v nepřehledných tunelech vyžaduje pro zajištění bezpečnosti vlakový zabezpečovač s přenosem návěštních znaků a kontrolou skutečné rychlosti vozidla (**ATP - Automatic Train Protection**)



GoA 2: Jízda v krátkých intervalech vyžaduje kromě zajištění bezpečnosti prostřednictvím ATP též naprosto stejné (a optimální) ovládání vozidel nezávisle na dovednosti strojvedoucího - automatické vedení vlaku mezi jednotlivými stanicemi (**ATO - Automatic Train Operation**)



## Hierarchie ATP a ATO

Důležitým principem je **hierarchické rozdělení** automatizace vlakové dopravy na vlakový zabezpečovač (ATP) a automatické vedení vlaku (ATO) :

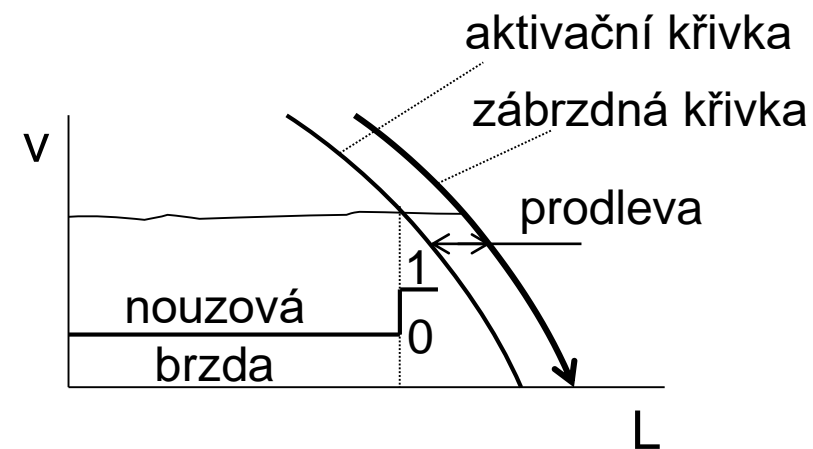
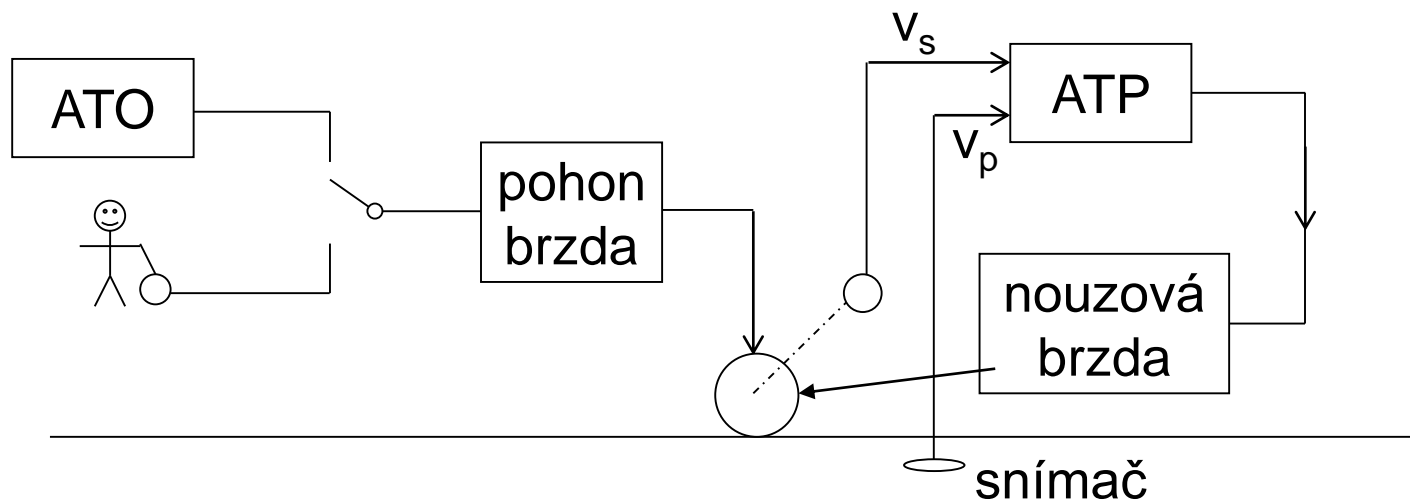
- vlakový zabezpečovač je zařízení s velmi **vysokým stupněm integrity bezpečnosti** (SIL), neboť jeho prvotní úlohou je dohlížet na práci strojvedoucího, u kterého nelze vyloučit omyl. Vlakový zabezpečovač (ATP) dohlíží i na práci automatické vedení vlaku (ATO) a zasáhne i v případě jeho chyby,
- dohled ze strany vlakového zabezpečovače (ATP) umožňuje řešit automatické vedení vlaku (ATO) velmi důmyslně, s využitím složitých optimalizačních algoritmů a **bez striktních požadavků na vysokou bezpečnost**, neboť tu zajišťuje na jeho činnost dohlížející vlakový zabezpečovač (ATP).

## Hierarchie ATP a ATO

ATP - je bezpečnostně relevantní, **kontroluje práci:**

- a) strojvedoucího (řídí-li vozidlo)
- b) systému ATO (řídí-li vozidlo)

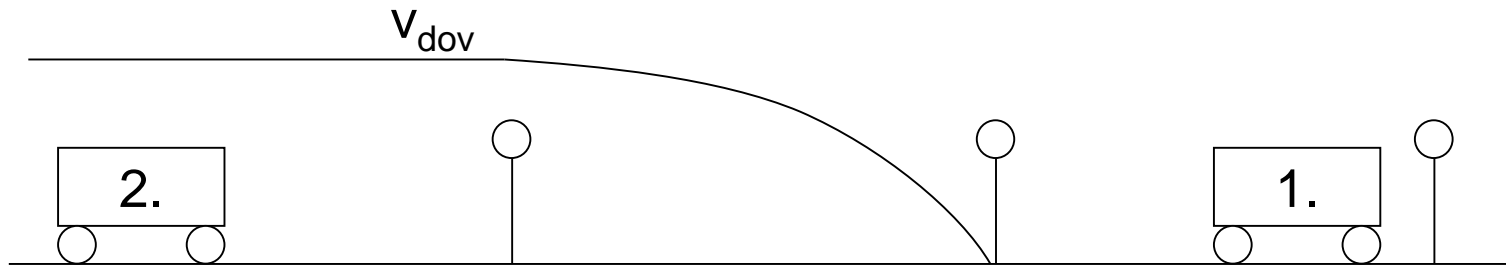
V případě překročení dovolené rychlosti vyvolá ATP nouzové brzdění



## Pevné prostorové oddíly

Tradiční zabezpečovací systém – **pevné prostorové oddíly**:

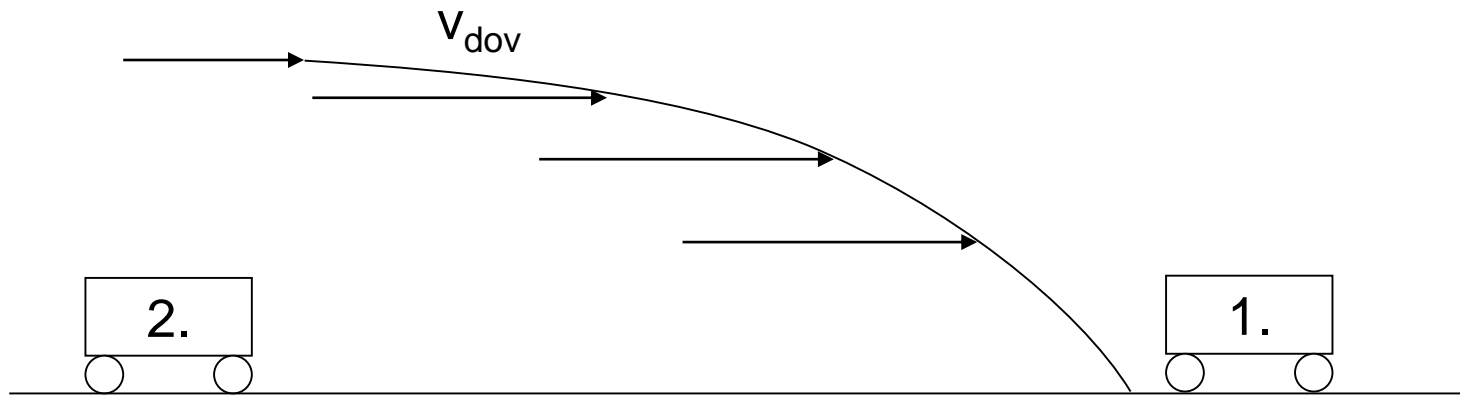
- trať je rozdělena na úseky (oddíly), ohraničené návěstidly,
- vlaky jezdí v rámci úseků (od návěstidla k návěstidlu)
- vzdálenost návěstidel (zábrzdná vzdálenost) odpovídá zábrzdné dráze nejhůře brzděného vozidla z nejvyšší rychlosti



## Pohyblivé prostorové oddíly

Moderní zabezpečovací systém (CBTC) – **pohyblivé prostorové oddíly**:

- na trati nejsou žádné oddíly ani žádná návěstidla
- vlak hlásí svoji polohu do centrály,
- centrála sdělí dalšímu vlaku, kde se nachází předchozí vlak
- další vlak smí jet jen tak rychle, aby bezpečně zastavil před místem, kde se nachází předchozí vlak (je považován za pevnou překážku)



Výhoda: vlaky mají jen takový odstup, jaký je bezpečně potřeba:

- podle **okamžité rychlosti** druhého vlaku,
- podle **brzdících schopností** druhého vlaku,
- podle **polohy konce** prvního vlaku.

## CBTC

S ohledem na značnou intenzitu přepravních proudů je na tratích metra žádána jízda vlaků v **intervalu kolem 90 sekund**. To není při vzdálenosti zastávek kolem 1 km a traťové rychlosti 80 km/h snadná úloha.

V souvislosti s růstem měst vznikaly v posledních desetiletích minulého století k zabezpečení jízdy vlaků metra v těsném sledu stále dokonalejší systémy **vlakových zabezpečovačů**. V postupu rychlého vývoje dospěly do stádia, že přestaly být **nadstavbou** k železničnímu zabezpečovacímu zařízení, ale staly se jeho **součástí**. Vyvrcholením tohoto snažení se stalo **na komunikaci založené zabezpečení jízdy vlaků** – systém CBTC (Communication Based Train Control).

Princip CBTC je jednoduchý, je **podobný provozu automobilů na silnici**. Na rozdíl od tradičně na železnici používaných pevně rozmístěných prostorových oddílů jednotné délky (odpovídající traťové zábrzdne vzdálenosti), používá CBTC pohyblivé prostorové oddíly (moving block) proměnné délky, která odpovídá aktuální zábrzdne dráze, tedy úměrné okamžité rychlosti jízdy následného vlaku.

## CBTC

- prostřednictvím **digitálního rádiového** spojení hlásí kontinuálně každý vlak radioblokové centrále **okamžitou polohu** svého čela a svoji okamžitou rychlost jízdy, plus také informaci o své délce a celistvosti,
- radiobloková centrála na základě toho předává následujícímu vlaku informaci o **aktuální poloze konce jemu předchozího vlaku**,
- následující vlak tedy průběžně zná v čase proměnnou **polohu konce přechozího vlaku** na trati,
- mobilní část vlakového zabezpečovače (ATP – Automatic Train Protection) průběžně kontroluje, zda zařízení pro automatické vedení vlaku (ATO – Automatic train Operation), nebo manuálně strojvedoucí, řídí rychlost jízdy vlaku tak, aby **nepřesáhla rychlost dovolenou** traťovými poměry (včetně vlivu poloměrů oblouků, polohy výhybek a dalších trvalých či přechodných omezení) a zároveň aby nepřesáhla rychlost, ze které je vlak schopen svými brzdami bezpečně zastavit, s určitou rezervou, před koncem vlaku předchozího,
- při nesplnění této podmínky (okamžitá skutečná rychlost jízdy vlaku je vyšší než rychlost limitní) aktivuje vlakový zabezpečovač **nouzové brzdění**.



Podstatný rozdíl **železniční dopravy** ve srovnání s realitou **silniční dopravy** spočívá ve skutečnosti, že vlakový zabezpečovač uvažuje konec předchozího vlaku nezávisle na rychlosti jeho jízdy za stojící překážku.

Odstup mezi vlaky tedy na **železnici určuje zábrzdná vzdálenost** (vzdálenost potřebná k úplnému zastavení vlaku), **nikoliv jen reakční vzdálenost** (vzdálenost potřebná k aktivaci brzd), jak je praktikováno v silniční dopravě. Jízda vozidel ve sledu s odstupem pouhé reakční vzdálenosti totiž může vést při náhlém prudkém zastavení prvního vozidla (například v důsledku nárazu do překážky) k řetězové havárii. Toto v silniční dopravě tolerované riziko je v kolejové dopravě z mnoha důvodů neakceptovatelné:

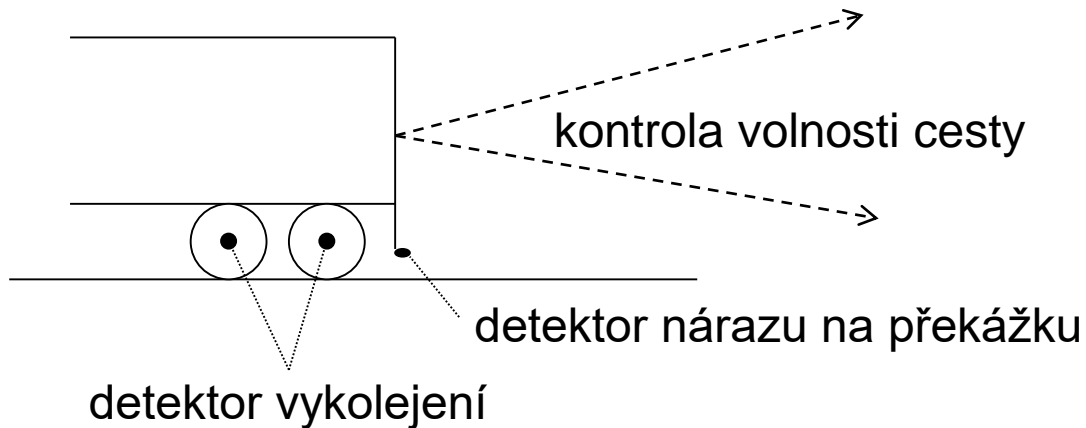
- železniční vozidla jsou směrově **pevně vedena v koleji bez možnosti vzájemného vyhnutí**,
- nižší **brzdné zpomalení dané nižším součinitelem adheze** ocelových kol na ocelových kolejnicích vůči pneumatikám na vozovce,
- **vyšší počet** ohrožených osob.

Proto je nutné, aby byl předchozí vlak, jedoucí libovolnou rychlostí směrem vpřed, vnímán následujícím vlakem nikoliv jako pohybující se překážka, ale **jako stojící překážka**. Zároveň je též nutno zamezit jeho možnému pohybu opačným směrem vstříc následujícímu vlaku.

## GoA 3 (DTO) Provoz bez strojvedoucího, ale s doprovodem vlaku personálem dopravce

Řídicí a zabezpečovací systém řídí provoz vlaku (ATO, ATP) plus navíc systém (jeho staconární či mobilní část) zajišťuje:

- kontrola **volnosti cesty** (průjezdného průřezu),
- kontrola, zda vlak nenarazil na překážku (detektor **nárazu**),
- kontrola, zda vlak nevykolejil (detektor **vykolejení**).



Doprovodný **personál vlaku zajišťuje:**

- kontrola výstupu a nástupu cestujících.
- začátek a konec služby,
- mimořádné situace.

## GoA 4 (UTO) Provoz bez doprovodu vlaku personálem dopravce

Ve srovnání s GoA 3 systém navíc u GoA 4 zajišťuje:

- kontrolu **nástupu a výstupu cestujících** (vyloučení sevření mezi dveřními křídly, volnost bezpečnostního pásu)
  - => nástupištní dveře (Paříž),
  - => elektronické optické systémy (Norimberk),
- **zahájení a ukončení služby** (výjezd z depa a návrat do depa),
- **mimořádné situace** (dojezd do nejbližší stanice - pokud možno),
- **kontrola stavu** vozidla (diagnostika technických systémů, audio/video monitorování interiéru, komunikace)

## Bezobslužné metro

Bezobslužný provoz metra **je vhodný:**

- pohyb vozidel po veřejnosti nepřístupné dráze,
- zcela monotónní jízda mezi stanicemi,
- všechny vlaky mají stejné parametry.

Bezobslužný provoz- metra **je přínosem:**

- vzniká nová kvalita dopravního systému

Metro: velká **odpovědnost a opatrnost** s cílem předejít vzniku mimořádné situace:

- až 1 000 cestujících,
- až 50 m pod povrchem, v úzkém tunelu s přívodní elektrickou kolejnicí 750 V

**Celkové přínosy** CBTC GoA 4:

- provoz ve velmi krátkých intervalech,
- úspora provozních nákladů (mzdy),
- flexibilní jízdní řád - pružná změna intervalu mezi vlaky podle okamžitého zájmu cestujících o přepravu,
- vyšší spolehlivost vozidel (odpadá rozhraní technika/člověk),
- vysoká míra rekuperace (hustý provoz),
- rovnoměrný odběr energie (hustý provoz, příznivý poměr středního a maximálního výkonu z distribuční elektrické sítě),
- nástupištní dveře chrání trať před pádem osob, problémovými osobami i zatoulanými psy.

## Bezobslužné metro – praktické poznatky a zkušenosti

1) **Flexibilita systému** – možnost aplikovat pružný jízdní řád (operativní změna intervalu mezi vlaky podle aktuální přepravní poptávky)

- soustavně je monitorován počet cestujících přicházejících do stanic,
- podle toho je vypočtena potřebná přepravní kapacita (potřebný interval mezi vlaky),
- skutečný interval je přizpůsoben požadovanému zařazováním dalších vlaků do oběhu nebo jejich vyřazováním z oběhu,

2) Odpadají vazby na **zákoník práce**

- nejkratší doba služby není omezena (vlak může být nasazen třeba jen na půl hodiny)
- v létě není nutno vyhlašovat prázdninový jízdní řád pro umožnění čerpání dovolené
- mimořádný vlak lze zavést ihned operativním rozhodnutím dispečera (vlak se strojvedoucím: po několika dnech jednání a schvalování několika odborných útvarů)

3) Úspora **deficitních provozních pracovníků** a úspora **mzdových nákladů**

Směrné hodnoty složek variabilních nákladů náklady na 1 vl. km:

- elektrická energie:  $9 \text{ kWh/km} \cdot 3,5 \text{ Kč/kWh} = 32 \text{ Kč/km}$
- mzdové náklady:  $1,4 \cdot 400 \text{ Kč/h} / (0,45 \cdot 30 \text{ km/h}) = 37 \text{ Kč/km}$

## Bezobslužné metro – praktické poznatky a zkušenosti

### 4) Zachování intervalu

Pro zvýšení kvality a atraktivity přepravní nabídky energeticky a environmentálně výhodné veřejné hromadné dopravy lze i v přepravních sedlech (víkend, večer) zachovat krátké intervaly, neboť variabilní náklady dopravního provozu nejsou příliš vysoké (neobsahují mzdové náklady)

### 5) Zvýšení spolehlivosti

Je realitou, že zhruba 50 % poruch moderních kolejových vozidel metra souvisí se stanovištěm strojvedoucího:

- ovladače,
- sdělovače,
- stěrače,
- klimatizace,
- zrcátka a jejich pohon
- dveře.

V případě automatického provozu tyto komponenty odpadají, respektive nejsou používány. To vede k podstatnému zvýšení provozní spolehlivosti vozidel (potvrzeno statistickými údaji z konvenčního provozu a automatického provozu vozidel obdobného typu).

## Bezobslužné metro - shrnutí

Přínosy nejvyššího stupně automatizace (bezobslužný provoz GoA 4) jsou velmi zásadní:

- **snížení poruchovosti** vozidel odstraněním z elektromechanických rozhraní člověk/stroj,
- provozování vlakové dopravy **nezávisle na zákoníkem práce určené limity pracovní doby**, čerpání dovolené a podobně,
- přepravní poptávkou automaticky řízený **pružný jízdní řád** – řízení intervalu mezi vlaky podle aktuální přepravní poptávky ze strany cestujících,
- zajištění **kvalitní přepravní nabídky** (s krátkým intervalem mezi vlaky) i při nedostatku zájemců o náročná a odpovědná povolání v dopravě,
- **úspora provozních nákladů** vyplývající z úspory pracovních sil.

Z těchto důvodů se již na počátku 21. století stalo bezobslužné metro stavem techniky. Jiná než bezobslužná metra se již po světě zpravidla nebudují. V rámci upgradu jsou i tradiční linky metra postupnými kroky převáděny na plně automatický provoz. Veřejnost trend technicky zajištěného automatického provozu vlaků metra bez obsluhy akceptovala, vnímá bezobslužné metro jako vodorovný výtah.

Pochopitelně to není jednoduché, jde o velmi propracovaný systém a za jeho vznikem je velké množství lidské práce a přemýšlení i mnoho let náročných vývojových prací, zkoušek i provozních zkušeností.

## Autonomní tramvaje

Realita:

- lidé chtějí, aby tramvaje jezdily **v krátkých intervalech** (při přepravě na **krátké vzdálenosti** je doba **čekání na tramvaj** srovnatelná s dobou jízdy tramvají),
- lidé si přejí nízké jízdné, ale **mzdové náklady** jsou podstatným nákladem městské hromadné dopravy,
- z důvodu **minimalizace mzdových nákladů** nejsou používány **krátké vozy provozované v krátkém intervalu**, ale **dlouhé vozy provozované v dlouhém intervalu**,
- strojvedoucí rychlovlaku přepraví za hodinu 500 osob na vzdálenost 200 km, řidič tramvaje přepraví za hodinu 50 osob na vzdálenost 20 km – **produktivita jeho práce je 100 nižší**,
- mladí lidé nechtějí vykonávat **náročné a odpovědné povolání řidiče** vozidel MHD.

⇒ je velmi silná a **naléhavá společenská poptávka** nejen po bezobslužném provozu metra, ale i po **bezobslužném provozu tramvají**.

Ve srovnání s bezobslužným provozem metra je však bezobslužný provoz tramvají náročnější úlohou (jízdni dráha tramvají je **veřejně přístupná**).



# Autonomní tramvaje

Postupim, září 2018: zahájení provozu autonomní tramvaje.

Princip:

- pokud je trať **volná**, jede tramvaj podle jízdního řádu (při dodržování pravidel pouličního provozu),
- pokud je na trati **detekována překážka**, tak tramvaj **brzdí** a zpomalí, respektive zastaví, počká na uvolnění tratě.

Zkušenost:

Autonomní tramvaj v provozu funguje, ale je **velmi zdvořilá**, v intenzivním pouličním provozu nestíhá dodržet jízdní řád.

Profesionální řidič tramvaje jezdí v intenzivním městském provozu **ostřeji**. Při spatření překážky v podobě automobilu řízeného neukázněného řidiče nebrzdí, ale **zvoní**. Ve většině případů neukázněný řidič automobilu tramvaji uhne. Ale někdy ne, a dojde ke střetnutí.

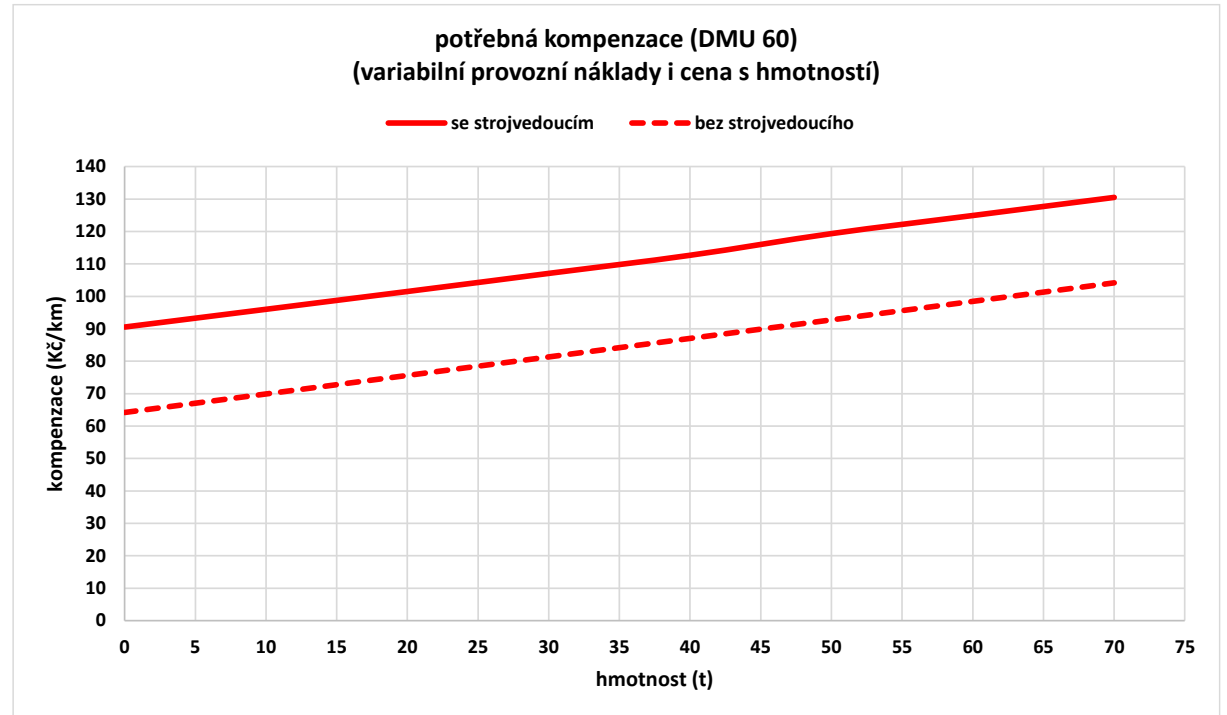
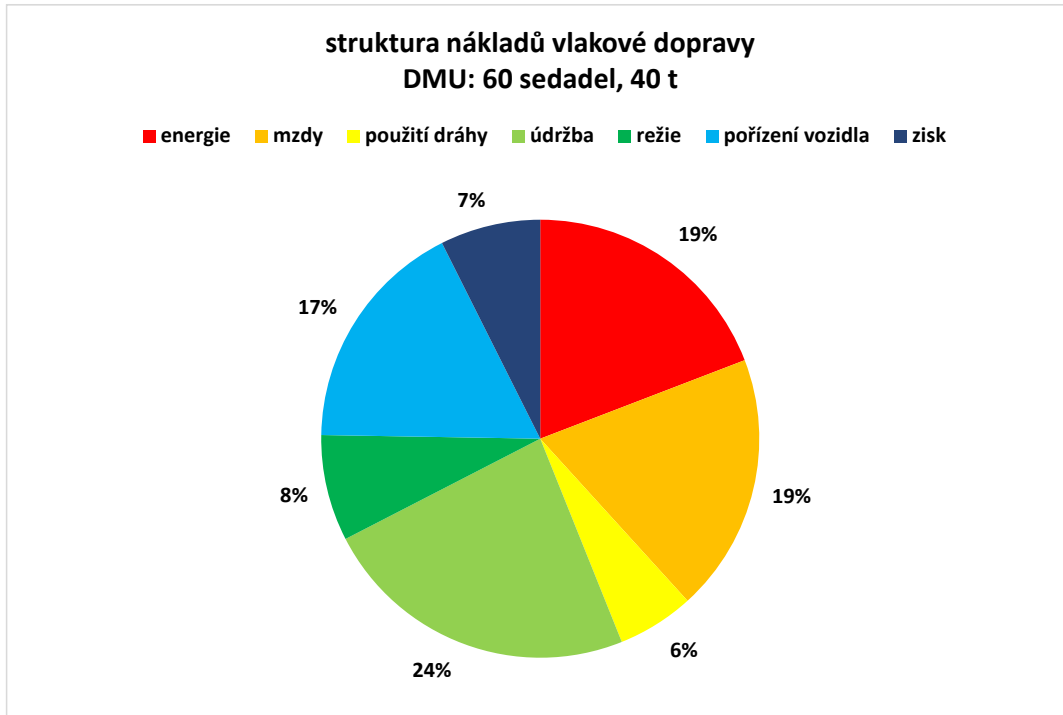
Statistika z pražské tramvajové sítě potvrzuje vysokou nehodovost, **1 nehoda** připadá na pouhých **27 000 voz km** (800 tramvajů má přes 1 500 nehod ročně).

Inženýr (tvůrce SW) a schvalovatel SW vozidla neriskují, striktně **dodržují předpisy a minimalizují rizika** (viz analogie: opatrné brzdné křivky ETCS). Etické otázky: jak závazná je předpisem určená přednost tramvaje? Jak má SW tramvaje tolerovat nekázeň řidičů automobilů?



# Železnice

Automatické metro je již léta stavem techniky, automatické tramvaje se postupně prosazují též, **železnice spěje k automatickému provozu též**. Ekonomika je neúprosná: čím méně lidí vlak veze, a čím je pomalejší, tím má náhrada strojvedoucího automatem vyšší ekonomický přínos ( $n_M = M / (v \cdot N_c)$ ).



Příklad regionální DMU (ceny 2021): ke snížení provozních nákladů o 24 Kč/km by bylo nutno snížit hmotnost vozidla o 42 t, což není technicky reálné. Týž efekt lze docílit bezobslužným provozem, což je technicky schůdnější.

## Evoluční cesta k bezobslužnému provozu vlaků na železnici

Cesta postupnými kroky k bezobslužnému provozu vlaků na železnici **již byla zahájena**, a to vybavováním tratí a vozidel jednotným evropským **vlakovým zabezpečovačem ETCS**. Ten je interoperabilním základem pro další nadstavbové funkce vyšších stupňů automatického řízení.

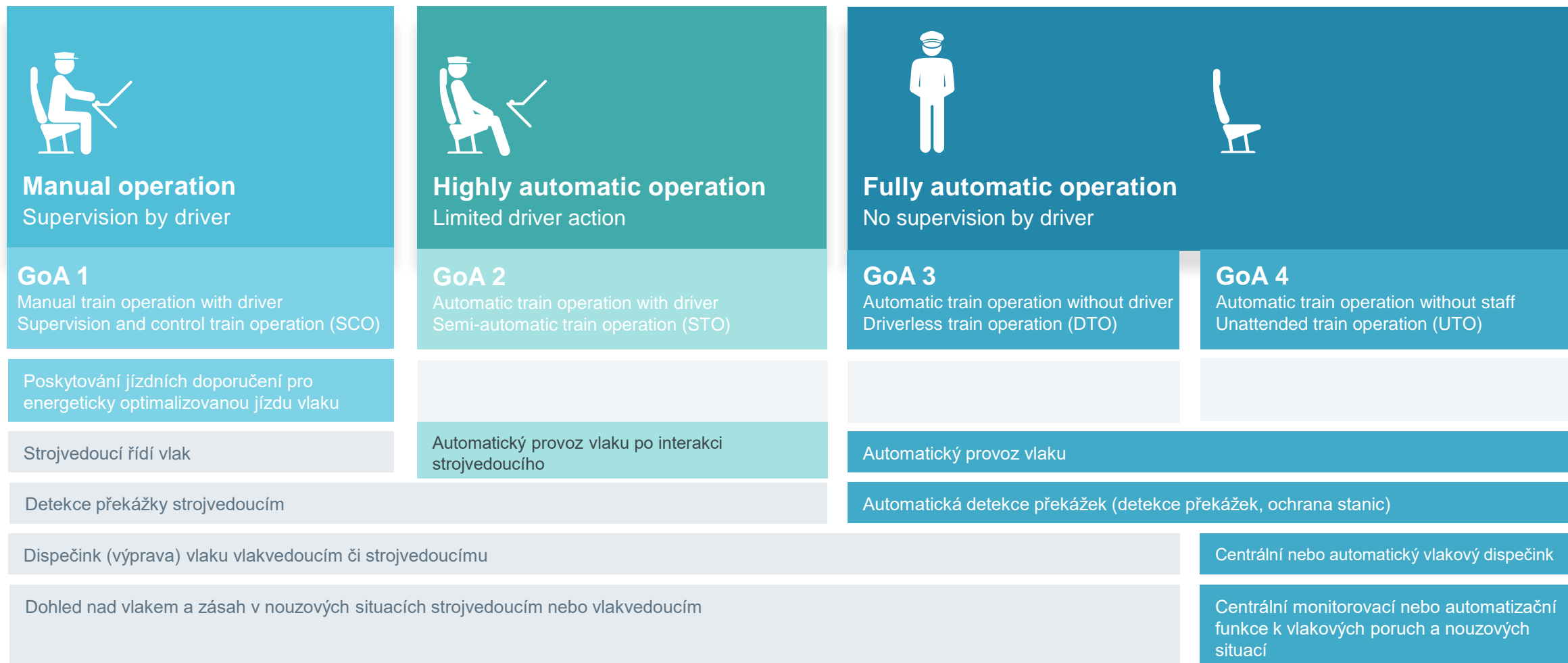
GoA 1 – ATP: ETCS,

GoA 2 – ATP + ATO: ATO over ETCS

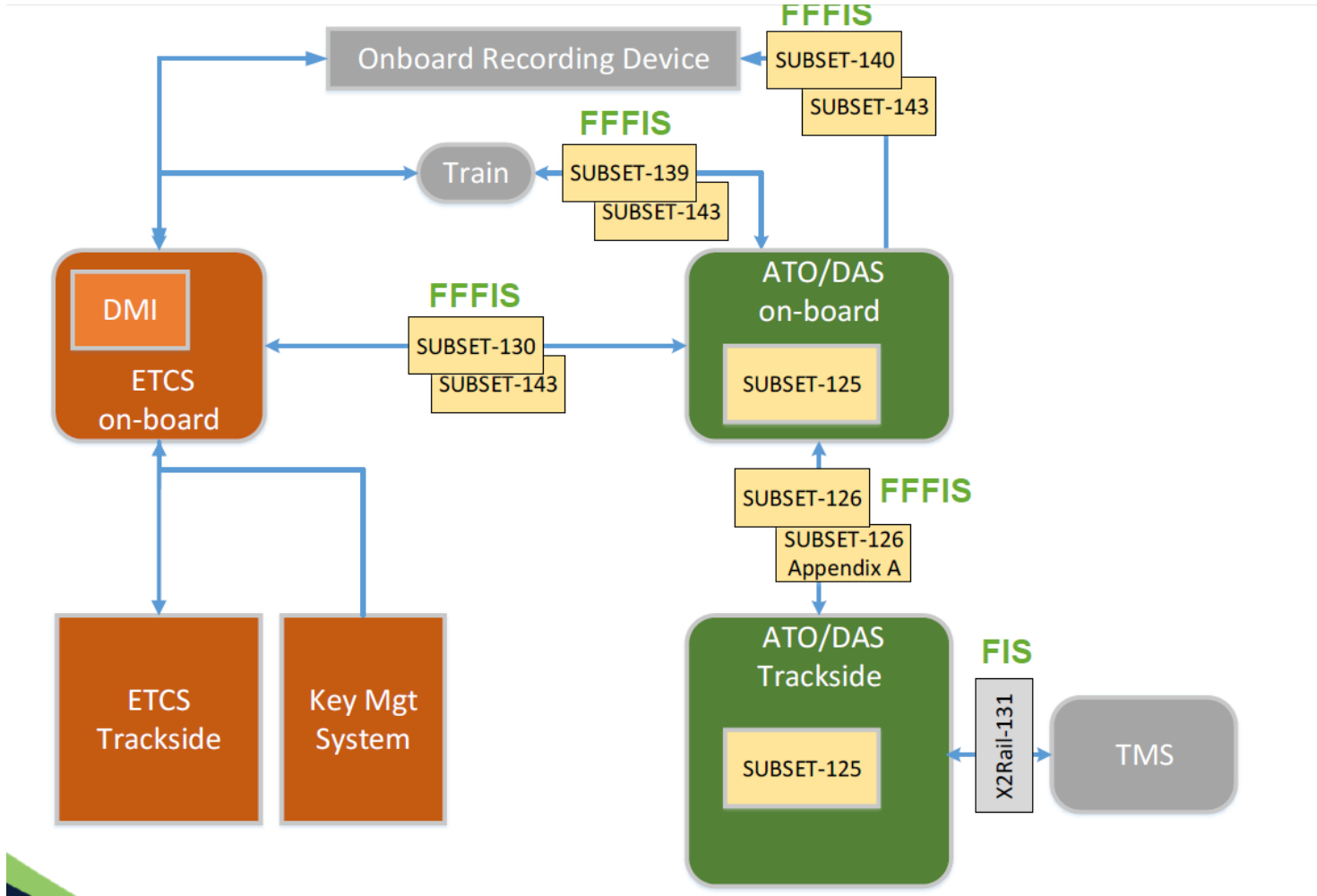
GoA 3 – ATP + ATO + funkce nahrazující dohled strojvedoucího

GoA 4 – ATP + ATO + funkce nahrazující dohled vlakového personálu

# Automatizace železniční dopravy až po plně automatizovaný provoz vlaků



# ATO jako nadstavba ETCS (definice rozhraní)




# Referenční architektura podle Shift2Rail ATO over ETCS (GoA 2)

TRACKSIDE  
Optimizing network

## Traťová část ATO

- Generování a přenos dat pro ATO o aktuálním jízdním řádu a trati.



Traffic management system

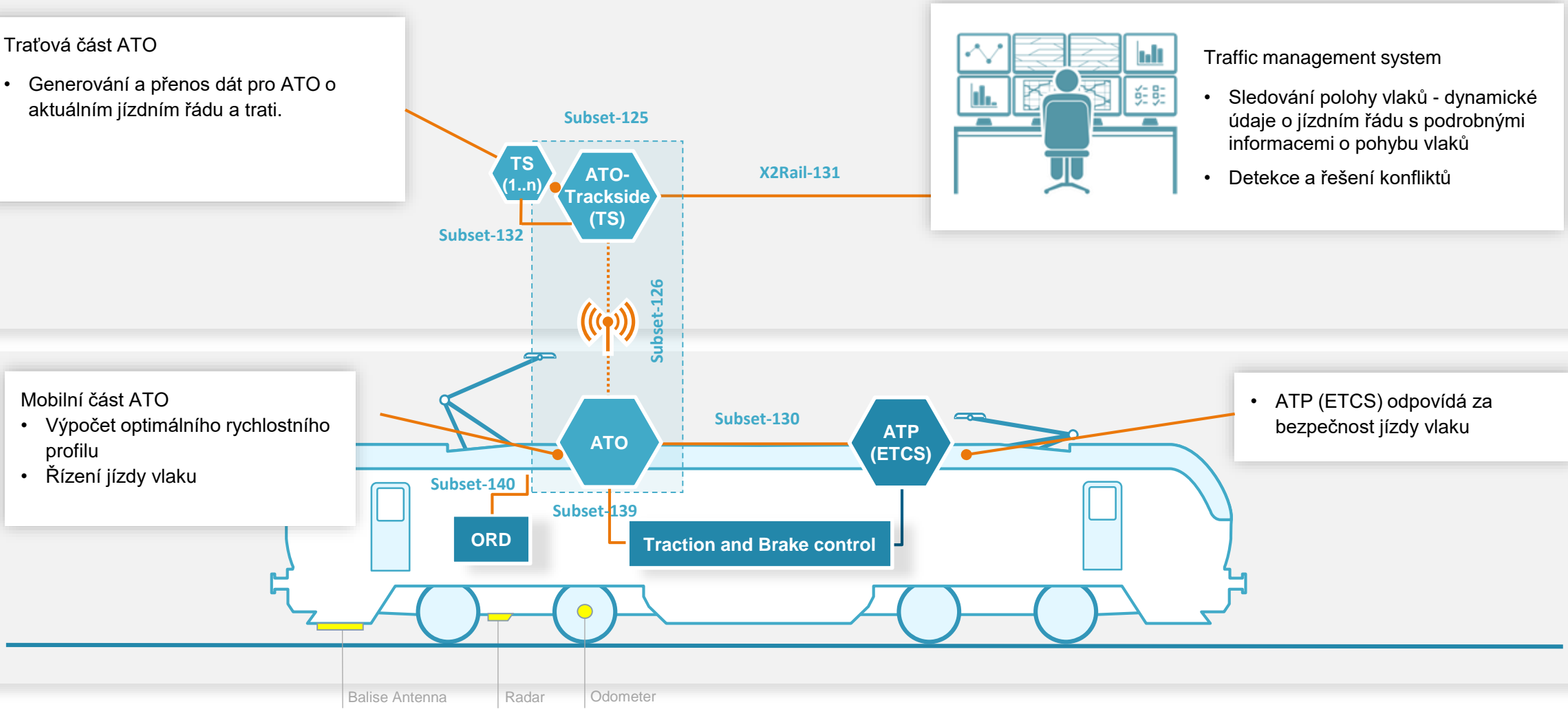
- Sledování polohy vlaků - dynamické údaje o jízdním řádu s podrobnými informacemi o pohybu vlaků
- Detekce a řešení konfliktů

ON-BOARD  
Optimizing specific fleet

## Mobilní část ATO

- Výpočet optimálního rychlostního profilu
- Řízení jízdy vlaku

- ATP (ETCS) odpovídá za bezpečnost jízdy vlaku





## S-Bahn Hamburg: pilotní projekt ATO AVVO ETCS GoA 4

### S Bahn Hamburg (DB):

- 144 km tratí, 67 stanic, 1,2 kV DC / 15 kV 16,7 Hz
- přes 200 mil. osob/rok (železnice v ČR: 2019: 194 mil. osob/rok)

### Pilotní projekt DSH:

- 11 stanic,
- 23 km tratí,
- 4 EMU,
- ATP (ETCS),
- ATO,
- AVVO (Advanced Vital Vehicle operation) - funkčnost GoA 3/GoA 4



## S-Bahn Hamburg: pilotní projekt ATO AVVO ETCS GoA – zkušební provoz





## Závěr - přesun kompetencí

- v počáteční éře železnice se dopravce věnoval vývoji vozidel, jejich údržbě a provozu, průmyslu byla svěřena jen výroba vozidel. Cestující si opatřil potraviny a četbu na cestu, vyhledal si spojení a zjistil si návaznou dopravu.
  - v průběhu 20. století převzal průmysl roli vývoje vozidel, dopravce se více soustředil na cestujícího (zajištění cateringu a zábavy),
  - v 21. století převzal průmysl též roli údržby vozidel, dopravce se ještě více soustřeďuje na cestujícího (vyhledání spojení),
  - přirozený trend dělby kompetencí pokračuje, průmysl přejímá prostřednictvím HW a SW i provoz (řízení vozidel), dopravce se ještě více soustřeďuje na potřeby cestujícího, aktivně se zapojuje do řetězce multimodální mobility (MaaS).
- => přechod na bezobslužný provoz GoA 4 je logickým trendem.

čas	19. století	20. století	nyní	trend
návazná doprava	cestující	cestující	cestující	doprovce
vyhledání spojení	cestující	cestující	doprovce	doprovce
catering, využití času	cestující	doprovce	doprovce	doprovce
provoz vozidla	doprovce	doprovce	doprovce	průmysl
údržba vozidla	doprovce	doprovce	průmysl	průmysl
návrh vozidla	doprovce	průmysl	průmysl	průmysl
výroba vozidla	průmysl	průmysl	průmysl	průmysl

**Děkuji Vám za Vaši pozornost!**



**Jiří Pohl**  
**Senior Engineer**

**Siemens Mobility, s.r.o.**

Engineering

Siemensova 1

155 00 Praha

Česká republika

Mobil: +420 724 014 931

[jiri.pohl@siemens.com](mailto:jiri.pohl@siemens.com)