ČVUT Praha - Cena děkana Fakulty dopravní 2015/2016

Automatizovaná průmyslová železnice

Zdeněk Fišr

Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Chomutov

Prosinec 2015

Tento projekt si klade za cíl navrhnout jeden z možných způsobů, jak by v budoucnu mohly být obsluhovány továrny ve větších průmyslových zónách nedaleko kontejnerových překladišť. Zamýšlí se též nad budoucností dopravy obecně, nad možnostmi provedení celého systému a nad jeho dalším možným využitím.

Obsah

1. Úvod 3
1.1. Výhody a nevýhody silniční dopravy 3
1.2. Výhody a nevýhody (elektrické) železniční dopravy 3
1.3. Spolupráce silniční a železniční dopravy 4
2. Popis projektu 4
3. Vozidla 6
3.1. Automatické nákladní vozy 6
3.2. Záložní elektrická lokomotiva 7
4. Zabezpečení a řízení vozidel 7
5. Infrastruktura 8
5.1. Depo 8
5.2. Hlavní odstavná stanice 9
5.3. Překladiště 10
5.4. Trať 11
5.5. Průmyslová zóna 12
6. Organizace systému 13
7. Možné využití pro osobní dopravu 14
8. Závěr 15
8.1. Nevýhody 15
8.2. Výhody 15
8.3. Shrnutí 15
9. Použité zdroje 16
10. Vypracoval 16

1. Úvod

Železnice tvoří již více než 150 let páteř dopravního systému České republiky i celé Evropy. V počátcích byla upřednostňována z různých důvodů, např. kvůli rychlosti, efektivitě, možnosti hromadných přeprav a tak dále, a to jak v osobní, tak i v nákladní dopravě. V posledních desetiletích se však dominantním dopravním módem stává silniční doprava, téměř stoprocentně závislá na ropných produktech. Trend se v posledních letech začíná obracet ve prospěch železnice, ale je toto tempo dostačující? Nyní si srovnáme výhody a nevýhody obou druhů dopravy z hlediska nákladní dopravy, a z toho určíme, na které výkony se který dopravní prostředek nejlépe hodí. Poté si představíme nekonvenční dopravní systém, který zajímavým způsobem řeší obsluhu průmyslových zón.

1.1. Výhody a nevýhody silniční dopravy

Silniční vozidla obecně mají schopnost dostat se prakticky kamkoliv, kam vedou silnice, dokonce i mimo ně, a nejsou přitom závislá na pracovnících, kteří by přesně stanovovali jejich trasu místo řidičů. To činí silniční vozidla, v našem případě kamiony či nákladní automobily, velmi **operativními**. Náklad může vyjet kdykoliv a není třeba na cokoliv čekat. Je také možno za určitých podmínek převážet nadměrný náklad, čemuž se dočasně přizpůsobí infrastruktura.

Na delší vzdálenosti jsou již silniční vozidla méně vhodná. Jeden řidič totiž převáží náklad ve většině případů prakticky v souběhu s nedalekou kvalitní železniční tratí, a přitom veze jen malý zlomek (až 1/50) toho, co může uvézt strojvedoucí nákladního vlaku. Práce řidiče kamionu je tedy v tomto ohledu velmi **neproduktivní**. V současné době navíc není na trhu práce dostatek zájemců o tuto profesi, za což může dnešní větší zájem o povolání vyžadující vysokoškolské vzdělání a také příliš velká poptávka po dopravě zboží kamionem klidně i přes celou Evropu, což je samozřejmě značně neefektivní. Nadto mají všechny kamiony (až na pár výjimek, zatím spíše v experimentální rovině) benzinový nebo naftový pohon. Současný styl dopravy, při němž jsou města i dálnice přetíženy miliony aut, často vezoucích jen jednu osobu a u kamionů relativně malé množství nákladu, vede k rychlému vyčerpání světových zásob ropy (prognózy se pohybují kolem horizontu 50 let, poté se již nevyplatí těžit ropu) a lze rovněž očekávat, že ještě před tím se její cena vyšplhá na míru, při níž se již nevyplatí jezdit autem s pohonem na fosilní paliva, nebo budou vládami podniknuty kroky na výrazné omezení jejich používání v dopravě a na upřednostnění průmyslu, který je též na ropě velmi závislý – z ropy se vyrábí mnoho různých chemických látek. Ani elektromobily neposkytnou příliš velkou záchranu, pokud mezitím nedojde k objevu, jak elektrickou energii skladovat lépe než v bateriích. V opačném případě by výroba nových a likvidace starých baterií byla rovněž neefektivní ve srovnání s možností provozování trakčně závislých vozidel a nešlo by tedy o žádný větší kvalitativní posun. Když přičteme velké ztráty spalovacích motorů, vysoký součinitel valivého odporu při valení pneumatiky po silnici, vysoký aerodynamický odpor všech vozidel dohromady (ve srovnání s odporem jediného vlaku, který nahradí velké kvantum silničních vozidel) a neefektivní využívání silničních vozidel (stačí se rozhlédnout po městech, často připomínají obrovská parkoviště), dojdeme k závěru, že v budoucnu bude tento dopravní mód **okrajovou záležitostí**, a to hlavně ve formě plošné obsluhy menších území.

1.2. Výhody a nevýhody (elektrické) železniční dopravy

Železniční vozidla mají díky styku ocelového kola s ocelovou kolejnicí velmi nízký valivý odpor. Na rozjezd vlaku tedy stačí podstatně méně energie než v případě silničních vozidel. Pokud navíc jde o hnací vozidlo s elektrickým pohonem, je této energie potřeba ještě méně, neboť spalovací motory mají mnohem menší účinnost a tedy velké ztráty. Při rekuperaci, která je dnes již běžná, se množství energie snižuje ještě více (spalovací motory tuto schopnost zcela postrádají). Všechny tyto faktory šetří energii trojnásobně ve srovnání se silničními vozidly, železnice tedy má schopnost zhruba 9x **menší energetické náročnosti**, a to platí (byť s tímto činitelem o něco menším) i v případě velkého uplatnění elektromobilů. Jak jsem již nastínil, práce strojvedoucího nákladního vlaku může být až 50x lépe využita. Není tedy třeba zbytečně moc pracovních sil a

zůstává tak mnoho potencionálních zájemců o jiné, produktivnější profese, než je řízení kamionu s malým nákladem na velké vzdálenosti. Železniční vozidla jsou také díky střídání strojvůdců efektivněji využívána (obvykle přes velkou část dne). Kamiony jsou na tomto o něco hůře a o osobních automobilech není třeba mluvit. Železnice je také nesrovnatelně **bezpečnější**, jen na silnicích v ČR totiž prakticky denně umírají lidé, kdežto na železnici v samotných vlacích je toto velmi vzácné.

Železnice naopak obvykle nemá schopnost plošné obsluhy malého území a je závislá na řízení provozu a přesné funkčnosti všech prvků. Také manipulace s nákladem bývá při nakládce či vykládce a obzvlášť při seřazování vozů často složitější. Docházíme tedy k závěru, že železnice je v nákladní dopravě nanejvýš vhodná pro **dálkové přepravy** všech druhů zboží, zvlášť pokud je nákladní vlak veden elektrickou lokomotivou a má co nejvíce vozů. V případě přeprav různých druhů zboží kromě surovin, tedy polotovarů, komponentů, hotových výrobků či potravin, obzvláště je-li toto zboží v malém množství, je vhodné železnici doplnit silničními nákladními vozidly pro rozvoz a svoz přepravních jednotek (kontejnerů, návěsů) po blízkém okolí daného překladiště. Ale může existovat i jiná možnost, jak si za chvíli ukážeme.

1.3. Spolupráce silniční a železniční dopravy

Abych shrnul výše vypsané, „ideální stav“ by nastal v případě, že by drtivou většinu dálkové nákladní dopravy (mezi regiony ČR, přes celé území ČR a mezi státy Evropy) měla zajišťovat železnice. Kamiony by sloužily prakticky jen na krátkých vzdálenostech (v rámci krajů, případně mezi dvěma kraji). Tomu se lze přiblížit vybudováním **sítě menších kontejnerových překladišť**, rozmístěných rovnoměrně po republice (v tomto projektu budu mluvit jen o možnostech v ČR, ale týká se to samozřejmě i zbytku Evropy, potažmo celého světa) tak, aby na každý kraj připadalo přibližně jedno nebo dvě překladiště. V ČR již existuje několik takových terminálů, ale ty jsou velké a jejich hlavním účelem je směrovat kontejnery po Evropě. Můj nápad zahrnuje pouze malá překladiště s obratem 5 - 10 vlaků denně v současných stanicích, nejlépe v železničních uzlech a poblíž významných silničních uzlů tak, aby všechny kamiony jezdily z uzlu do překladiště pokud možno mimo obydlené oblasti. Tím by byl vytvořen základ pro páteřní železniční nákladní dopravu a místní silniční nákladní dopravu v daných oblastech. Zaručila by se tím maximální možná eliminace dálkových cest kamionů. Další nutnou podmínkou je **kvalitní železniční síť**, což zahrnuje modernizaci současných tratí a vybudování nových konvenčních i vysokorychlostních tratí (což zajistí uvolnění současných koridorů pro nákladní dopravu) s nejmodernějším možným zabezpečením, to však není náplní tohoto projektu.

Pokud by ovšem poblíž takového překladiště měla vzniknout větší průmyslová zóna, opět by se zde projevily nevýhody kamionů, tentokrát hlavně ve znečišťování ovzduší v této lokalitě a také v nutnosti častých složitých manipulací s kamiony jak v překladišti, tak i v průmyslové zóně. A zde se nabízí možnost realizace mnou navrženého dopravního systému.

2. Popis projektu

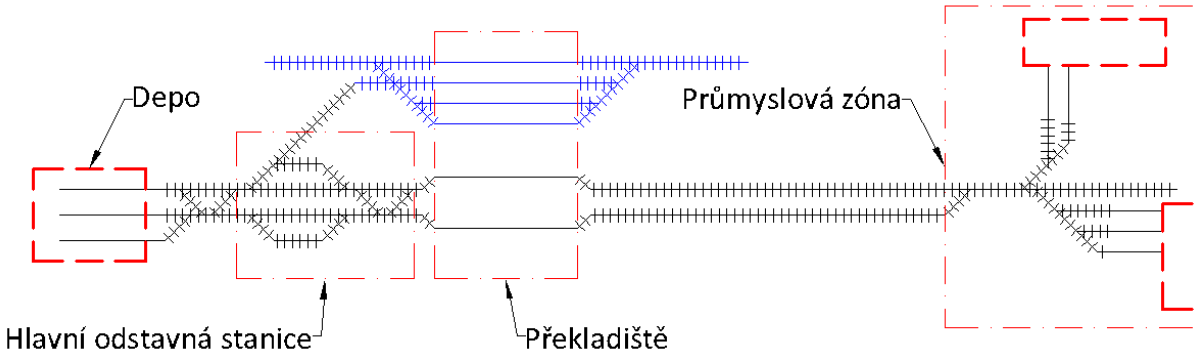
Systém automatizované průmyslové železnice (**APŽ**), který se jakožto zájemce o moderní železnici a student technické školy snažím navrhnout, je založen na přepravě kontejnerů mezi překladištěm a jednotlivými továrnami v průmyslové zóně malými, automaticky ovládanými plošinovými železničními vozy se spodním napájením. Mezi továrnami a překladištěm je tak veškeré zboží přepravováno po železnici, byť ne po té, na jakou jsme zvyklí. Nejprve vůz vyjede z hlavní odstavné stanice. V překladišti na něj jeřábník naloží kontejner z kamionu nebo z klasického nákladního vlaku. Dispečer ve velínu poté s pomocí údajů, které mu sdělí pracovníci překladiště, určí přesně, na kterou kolej v průmyslové zóně má přijet. Následně se vůz sám rozjede a bez jakéhokoliv lidského zásahu přijede až na danou kolej, kde se ho ujmou zaměstnanci dané továrny, kteří začnou s vykládkou. Aby byl systém co nejefektivnější, provedou také nakládku do téhož kontejneru. Jakmile dá místní operátor dispečerovi povolení k odjezdu, vůz obdobným způsobem přijede do překladiště, kde bude kontejner

buď uskladněn na určitou dobu, nebo bude rovnou naložen na kamion či nákladní vlak. Vůz poté zajede na hlavní odstavné nádraží, kde vyčká na další výkon.

Tento způsob dopravy tak elegantně využívá výhod elektrické železnice i na **velmi krátké vzdálenosti** (řádově jednotky kilometrů, ale možné jsou i desítky kilometrů), je zde navíc splněna výše zmíněná podmínka velkého množství nákladu. Pokud bude průmyslová zóna dostatečně velká a produktivní, lze opravdu očekávat, že i tento systém bude na hraně kapacity a bude zde nesrovnatelně lepší než hlučná a nepříliš ekologická a ekonomická kamionová doprava, jež by vyžadovala spoustu řidičů, kteří by navíc neustále museli složitě popojíždět, což by je přivádělo do stresu. Tento systém může vést i přes obydlené oblasti, aniž by jejich obyvatele obtěžoval hlukem.

Celý systém automatizované průmyslové železnice se skládá z pěti segmentů: depa, hlavní odstavné stanice, úseku vedeného přes překladiště, širé trati a průmyslové zóny. Rozchod kolejí by zde měl být shodný s rozchodem konvenčních železnic (**KŽ**), tedy 1435 mm, aby bylo možno občas převážet vozidla do externích dílen na větší opravy. Z toho též vyplývá, že obě sítě budou propojeny spojovací kolejí, a to v místech hlavní odstavné stanice. Zabezpečení a řízení vozidel bude řešeno jako plně bezdrátové a automatizované. Bude do značné míry vycházet z evropského zabezpečovače ETCS 3. aplikační úrovně, neboť za této podmínky není potřeba návěstidel, a tedy ani strojvedoucích. Na trati tak budou pouze balízy, sloužící ke kalibraci polohy vozidel. Ty nepotřebují žádné napájení, jsou totiž pouhými magnetickými čidly. Rozmístěny budou všude, kde se nacházejí místa s potřebným zpomalením či zastavením. Místa pro zastavení, daná pouze zabezpečovačem (nikoliv balízou), budu nazývat **sektory**. Každý sektor bude dlouhý jako vůz, a to s tolerancí 2 metry na obou stranách. Pro komunikaci vozidel a operátorů v průmyslových zónách s velínem budou sloužit vysílače podél trati. Napájení bude řešeno napájecí postranní kolejnicí, aby nad úrovní plošiny pro kontejner nemusela být žádná elektrická výzbroj. Bude přerušeno na výhybkách a v místech, kde se pohybují lidé. Z toho důvodu budou muset být vozidla vybavena též akumulátory či superkondenzátory.

Obr. 1: Legenda čar, které jsou použity ve všech následujících schématech. Kóty s písmenem „v“ udávají počet délek vozu včetně určitých tolerancí.



Obr. 2: Zjednodušené schéma systému APŽ. Všechny části systému jsou zde navrhnuty jen předběžně, podrobnější návrhy jednotlivých částí s různými variantami jsou v sekci Infrastruktura.

3. Vozidla

3.1. Automatické nákladní vozy

Automatické elektrické plošinové vozy pro přepravu kontejnerů jsou v mém projektu navrženy jako dvounápravové s normálním rozchodem (1435 mm) a spodním napájením. Délka plošiny bude navržena tak, aby se na plošinu vozu vešel i kontejner o délce 45 stop, tedy zhruba 13,7 m (další běžné délky jsou 20‘ a 40‘). Šířka bude pochopitelně odpovídat šířce kontejneru, tedy kolem 2438 mm. Předpokládaná výška vozu s velkoobjemovým kontejnerem (tzv. High-cube, je o něco vyšší) jsou 4 metry. Při použití dvou náprav a maximální hrubé hmotnosti kontejneru 30,8 tun bude zatížení na nápravu činit 15,4 tun, což plně odpovídá normám o maximálním možném zatížení. Obě čela vozu budou vybavena standardními spřáhly s nárazníky, těch se však bude využívat pouze v případě odtahu záložní lokomotivou nebo k přepravě do některé z externích dílen na větší opravu. Kontejnery délek 40‘ a zejména 20‘ budou nakládány vždy doprostřed vozu, aby obě nápravy byly zatěžovány rovnoměrně. Plošina v přední části vozu (směrem k průmyslové zóně) bude pokryta ocelovým plechem s protiskluzovými úpravami v délce kolem 4 metrů, aby v průmyslové zóně mohly vysokozdvižné vozíky zajíždět i do 20‘ kontejnerů.

Vozy budou napájeny napětím 600 V nebo 750 V stejnosměrných. Je to výhodné zejména kvůli bezpečnosti, kterou je vzhledem ke spodnímu napájení nutno řešit důsledněji. Veškerá elektrická výzbroj i řídicí a komunikační technika bude umístěna pod plošinou mezi oběma podvozky. Vozy budou vybaveny též **superkondenzátory**. Ty se budou používat pouze při výjezdu z depa a pro pojíždění v překladišti, kde ale z důvodu bezpečnosti bude zavedena snížená rychlost, ideálně 15 km/h. Pro tyto potřeby tedy není nutné použití akumulátoru, který je těžký a drahý a musí se ekologicky likvidovat. Superkondenzátory lze velmi rychle dobít. Hnaná náprava bude ta zadní (směrem k depu) a co nejvíce vzadu budou i sběrače, s ohledem na ukončení elektrifikace co nejdál od konců kolejí v průmyslové zóně, aby nebyla ohrožena bezpečnost pracovníků a zároveň aby se vozy odtud mohly rozjíždět bez pomoci kondenzátorů. Sběrače budou na obou stranách. Na výhybkách bude vedení přerušeno a na širé trati budou postranní kolejnice vždy mezi kolejemi, opět z důvodu bezpečnosti. Tím se též zajistí, že oba sběrače budou využívány rovnoměrně. Celý napájecí systém, včetně vozidel, bude umožňovat **rekuperaci**. Tu vozidla využijí buď k vracení energie do trakčního vedení, nebo k nabití kondenzátorů. Brzdit se tedy bude téměř výhradně tímto způsobem, pro jiné případy (nouzové zastavení, vedení jiným vozidlem, stabilizace vozu během stání) zde bude též kotoučová brzda. Pro zvyšování adheze je též vhodné použití pískovačů, přičemž systém sám pozná, kdy dochází k prokluzu, nebo je možné použít jednu z experimentálních metod odstraňování nečistot z kolejí, jako jsou velmi silné laserové paprsky.

Na ploše bude snímač hmotnosti, aby centrální software mohl sestavovat co nejpřesnější rychlostní profil. Na čelech vozů budou poziční světla (dálková nejsou zapotřebí) v červené a bílé barvě. Svítit budou vždy za jízdy a při stání mimo hlavní odstavnou stanici. Jejich aktuální použití bude spřaženo s momentálním nastavením směru jízdy. Uprostřed vozu bude umístěna anténa ke komunikaci s balízami a s vysílači. Vozidlo bude ovládáno centrálně z velínu, o tom se však podrobně zmíním v sekci *Zabezpečení a řízení vozidel*. Po straně vozu v přední části bude malý ovládací panel pro ruční ovládání, jenž budou využívat zejména pracovníci depa či jednotlivých továren pro pojíždění. Bude se skládat ze startéru na klíč (stejný pro všechny vozy) a páček pro ovládání kotoučové brzdy, pro zařazení směru jízdy a pro pojíždění, které bude odpovídat rychlosti pomalé chůze (kolem 2 km/h). Vůz totiž z bezpečnostních důvodů zastaví u továrny zhruba 2 metry od konce koleje, a aby bylo možné začít vůz vykládat, bude muset být rampě co nejblíže.

Počet vozů bude odpovídat počtu kusých kolejí v průmyslové zóně s minimální rezervou 5 vozů navíc, přičemž bude platit, že čím delší širá trať, tím bude muset být tato rezerva větší.

3.2. Záložní elektrická lokomotiva

Systém automatizované průmyslové železnice bude pochopitelně muset být doplněn o záložní lokomotivu. V našem případě bude sloužit zejména k odtahu neschopných vozů, jejich přetahu na konvenční železnici, nouzovým přepravám v případě poruchy napájení nebo řízení či k přepravě pracovníků APŽ, např. na začátek či konec směny nebo na opravu poruchy na trati. Lokomotiva je navržena jako elektrická dvounápravová jednosystémová (600 nebo 750 V stejnosměrných) se spodním napájením, s výkonem dostatečným k odtahu několika plně naložených vozů (tedy řádově stovky kW). Bude však muset být vybavena **akumulátory** s poměrně velkou kapacitou, dimenzovanou pro možnost odtahu několika vozů tam i zpět včetně posunu na obou stranách APŽ. V depu má na své koleji vlastní napájecí okruh pro nabíjení akumulátorů, oddělený od hlavní měnírny, aby se snížila pravděpodobnost úplného výpadku systému. Pro přepravy na opravu do externích dílen bude muset být vlečena jiným vozidlem. Lokomotiva bude mít jednu prostornou kabinu (kvůli rozvozu pracovníků) se stanovišti na obou stranách. Protože je ovládána strojvůdcem, je potřeba palubní část zabezpečovače, na které se mu zobrazí rychlostní profil, aktuální postavení vlakové cesty (systém neobsahuje návěstidla) a důležitá je i komunikace s velínem. Za běžné jízdy bude i tato lokomotiva ve většině případů ovládána automaticky.

Pokud to finanční podmínky a jiné faktory dovolí, tyto lokomotivy by v systému měly být **dvě**, základní počet však činí jeden kus.

4. Zabezpečení a řízení vozidel

Ovládání jízdy vlaků a stavění vlakových cest je z velké části automatizované, aby se dispečeři ve velínu podíleli na řízení provozu co nejméně. Celý systém je založen na bezdrátové komunikaci vozů s vysílači podél trati a s balízami a také na komunikaci dispečerů se všemi zaměstnanci APŽ. Speciálně navržený centrální software ve velínu neustále sestavuje všem aktivním vozům **rychlostní profily**, a to na základě stoupání, hmotnosti nákladu, adhezních podmínek, aktuální polohy jiných vozidel a jejich rychlostních křivek (kolem každého vozu se průběžně aktualizuje zóna, v níž se nesmí nacházet žádný jiný vlak) a dalších faktorů. Aby vše fungovalo správně, vůz neustále odesílá do centrály údaj o své poloze, zjišťovaný snímáním otáček kol. Ten se ovšem může vlivem prokluzu a případných nepřesností vzdalovat správnému údaji, proto jsou v kolejišti na tzv. kritických místech (před kusými kolejemi a místy, kde je třeba zpomalit) instalovány balízy. S jejich pomocí si vůz aktualizuje svůj údaj o poloze. Balízy nepotřebují napájení, proto jedinými napájenými zabezpečovacími prvky na trati jsou vysílače. Stavění vlakových cest je též plně automatické, ovšem dispečer jej může v některých případech převzít. Také může různým zásilkám přiřazovat priority, což zajistí, že se do cíle dostanou rychleji než jiné zásilky.

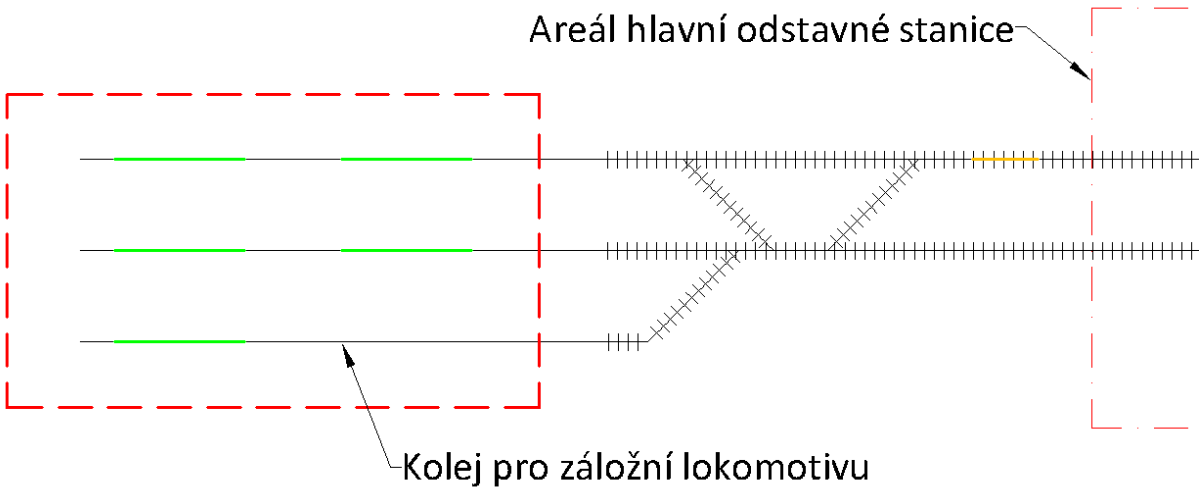
Když je potřeba jeden z kontejnerů přepravit do průmyslové zóny, dispečer určí, který vůz se má rozjet a na jakém sektoru v překladišti má zastavit (sektor vybere tak, aby vůz zastavil co nejblíže nakládanému kontejneru). Následně dá pokyn jeřábníkovi, aby kontejner naložil. Pracovníci v překladišti jej připevní na vůz a přečtou, pro jaký podnik je zásilka určena. Podle toho a také podle dopravní situace se dispečer rozhodne, na kterou kolej v průmyslové zóně má vůz přijet. Může pochopitelně i komunikovat s operátorem daného závodu. Snímač hmotnosti na vozidle kontejner zváží a údaj odešle do centrály. Software v ní instalovaný pak vlaku sestaví rychlostní profil. Ten bere v potaz i aktuální provoz stejným směrem a vždy nejprve počítá s tím, že vůz bude muset zastavit před vjezdem do průmyslové zóny (zde vede pro velké množství odboček jednokolejná trať, viz *obr. 2*). Protože se ale rychlostní křivka neustále aktualizuje, i to se může za jízdy změnit, stejně jako se pořád mění poloha ostatních vozidel jedoucích stejným směrem. Při vjezdu do odbočky k danému podniku již vůz jede jen cca 10 km/h a zastaví na sektoru na konci koleje. Sektory mají toleranci 2 metry, proto vůz zastaví zhruba v této vzdálenosti od zarážedla na konci koleje. Skutečná dosažená vzdálenost se vlivem nepřesností může trochu lišit, ale neměla by se odchýlit tak, aby došlo k nehodě. Operátor poté s vozem ručně zajede těsně na konec koleje a zabrzdí jej. Po dokončení vykládky (a většinou i nakládky) operátor oznámí dispečerovi povolení k odjezdu a ten opět stanoví, na který sektor v překladišti má přijet. Buďto se zde kontejner na určitou dobu ponechá, nebo bude rovnou naložen na kamion či (většinou) na vlak. Vůz se sem stejným způsobem přepraví a po vyložení jej dispečer pošle do hlavní odstavné stanice.

Dispečer tak pouze uděluje vozům povolení k odjezdu a stanovuje, kam mají přijet, o vše ostatní se postará řídicí software. Pochopitelně zde musí být i **generální stop**. V případě jeho použití vůz zastaví všemi prostředky, tedy elektrodynamickou a kotoučovou brzdou (která jinak pouze dobrzďuje a stabilizuje vozy při stání, pro zpomalení se vždy využívá možností rekuperace, byť ta má při nízkém stejnosměrném napětí omezené možnosti). Vůz by těsně před rozjezdem z překladiště a při vjezdu do něj měl automaticky slabě houknout, aby tím pracovníky upozornil na svůj pohyb. Jinde to není třeba, protože pouze v překladišti se mezi vozy pohybují lidé, kteří nemusí vědět, že vůz má právě odjet. Za zamyšlení též stojí dosazení laserového detektoru předmětů (a lidí či zvířat) v kolejišti. Ten by v případě zjištění překážky sám vůz nouzově zastavil. Je zde však nutno vyřešit problém, jak takový detektor zaregistruje předměty v kolejišti při průjezdu obloukem. Výhodnější by proto mohlo být jejich umístění na některá riziková místa v kolejišti a odesílání varovné informace na vlak.

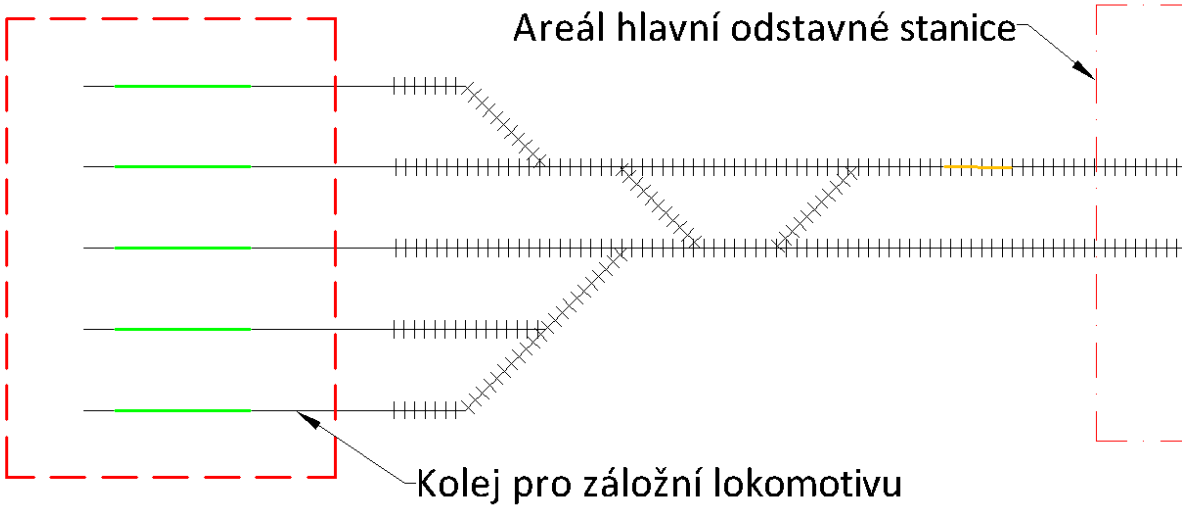
5. Infrastruktura

5.1. Depo

Depo v systému APŽ slouží především jako **opravna vozů** (pro provozní ošetření a menší opravy) a je zde deponována záložní lokomotiva. Vozy, které jsou v provozním stavu, ale nejsou momentálně potřeba či čekají na zásilku, stojí v hlavní odstavné stanici. V budově může být též dispečerské pracoviště (velín) a zázemí pro všechny zaměstnance. V jeho blízkosti či přímo v něm bude i hlavní měnírna, ovšem okruh pro nabíjení akumulátorů záložní lokomotivy, a případně i pro nabíječky u ostatních kolejí, bude oddělený. Depo jsem navrhnul ve dvou možných podobách, v obou se počítá se 4 místy pro vozy. Variant může být pochopitelně více, stejně jako ve všech dalších segmentech APŽ.



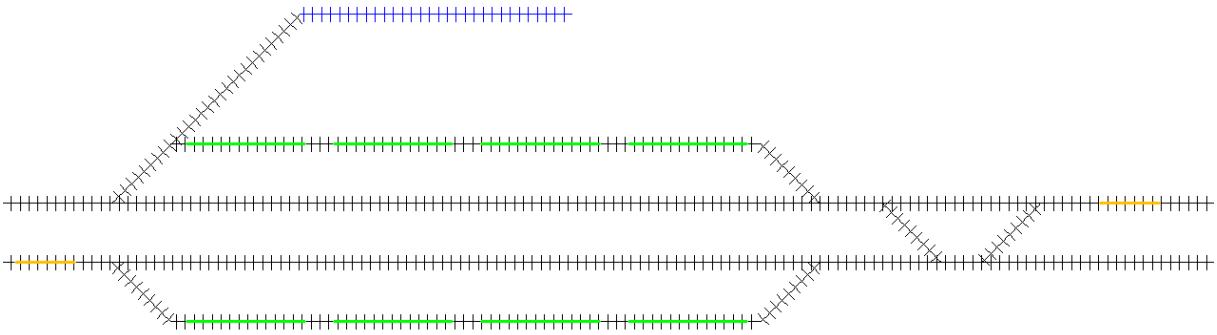
Obr. 3: Varianta D1. Zahrnuje poměrně malý počet výhybek, zato se může stát, že vůz stojící na sektoru vlevo bude „uvězněn“ jiným vozem. Tato varianta je vhodná pro systém s větším počtem vozů (kolejí pochopitelně může být více).



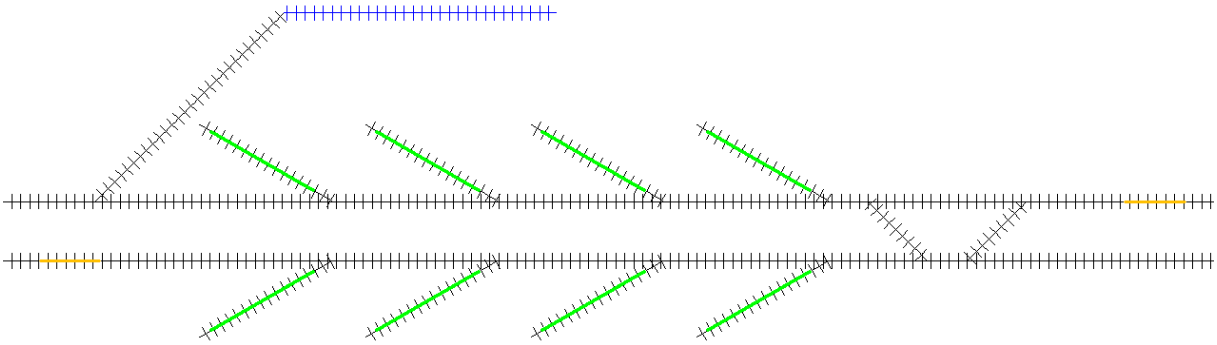
Obr. 4: Varianta D2. Počet výhybek je zde větší a každý vůz tu má svou vlastní kolej. Tato možnost se hodí pro systém s menším počtem vozů.

5.2. Hlavní odstavná stanice

V hlavní odstavné stanici jsou za běžného provozu odstavovány všechny provozní vozy. Buď zde stojí vypnuté, nebo vyčkávají, dokud jim dispečer nezadá příkaz, aby přijely na určitý sektor v překladišti, případně v průmyslové zóně. Zde se nabízí mnoho různých podob a taktéž záleží na množství vozů. Navrhnul jsem opět ty nejzákladnější, od kterých se mohou odvíjet další. Ve všech se nachází 8 sektorů, ve skutečnosti by jejich počet byl mnohem vyšší. Také zde odbočuje kolej propojující systém APŽ s konvenční železnicí. Je navržena tak, aby se z ní dalo jet bez úvratě do depa a aby např. porouchaný vůz sem mohla sunutím přepravit záložní lokomotiva přímo na styk napájecích soustav bez nutnosti použití akumulátorů, tudíž by si jej na tomtéž místě převzala konvenční lokomotiva.



Obr. 5: Varianta H1. Jedna kolej slouží jako čistě odstavná a stojí na ní vozy, které není potřeba mít aktuálně ve službě. Na druhé koleji se aktivní vozy stavějí do fronty. Vozy z výkonu přijedou vždy až k depu, změní směr a najedou na předjízdnou kolej těsně za další vůz. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost popojíždění aktivních vozů, nevyžaduje však mnoho výhybek a při větším počtu kolejí i sektorů se hodí pro systémy s větším počtem vozidel.

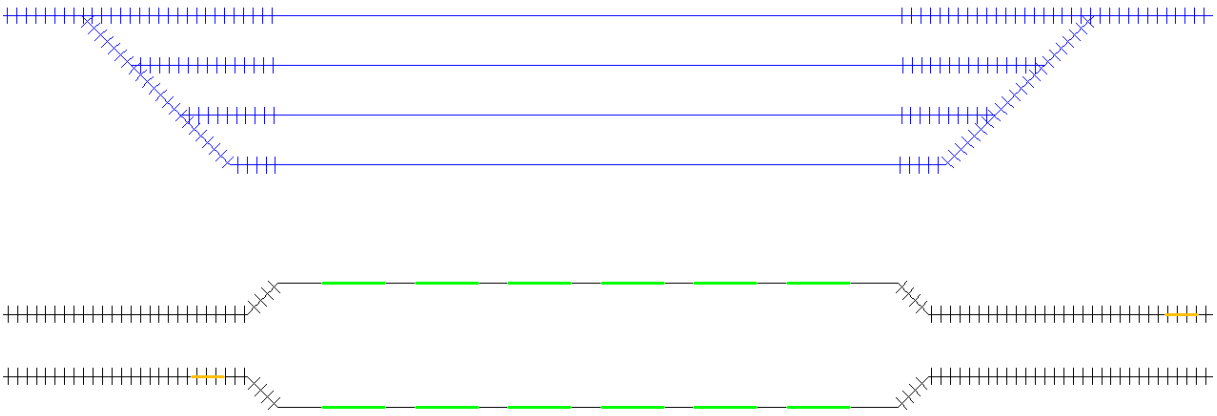


Obr. 6: Varianta H2. Každý vůz tu má svou vlastní kusou kolej. Hodí se pro malé systémy, neboť každá kolej i s výhybkou zabírá větší prostor. Také zde není možná přímá jízda mezi kolejí v hlavní odstavné stanici a depem.

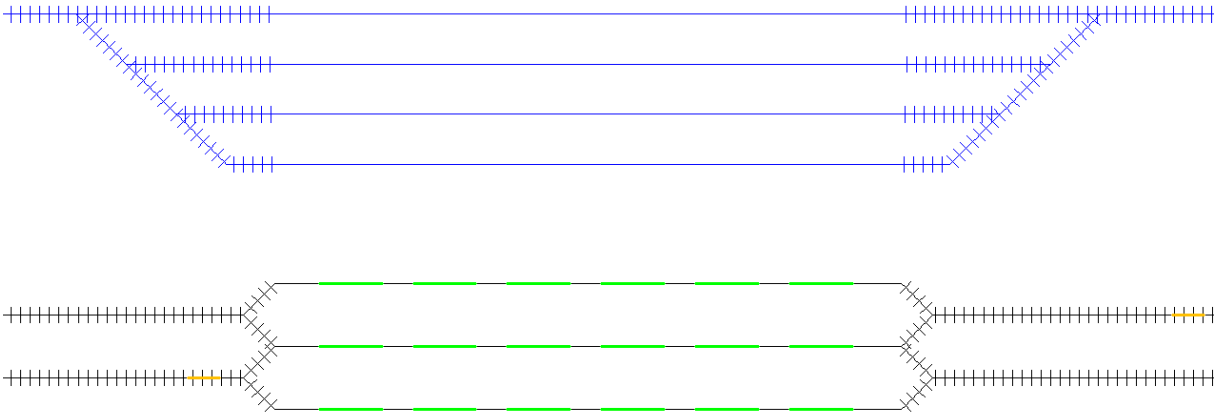
5.3. Překladiště

Část systému APŽ procházející překladištěm je ve variantě P1 vlastně jen specifický úsek širé trati. Osová vzdálenost kolejí je ve všech případech zvýšená, aby se zde pracovníci překladiště mohli bezpečně pohybovat. Z toho důvodu tu **nesmějí být koleje elektrifikovány**. Protože se zde však vozy budou pohybovat rychlostí kolem 15 km/h, není k jejich rozjezdu zapotřebí mnoho energie a pro tento úsek si vystačí se superkondenzátorem. Ve všech variantách je na každé koleji 6 sektorů. Samotnou nakládku zajišťuje jeřábník sedící v kabině na břevnu portálového jeřábu. On i pracovníci na zemi musejí zajistit, aby po naložení směřovala strana s dveřmi k průmyslové zóně.

Aby nebylo nutno používat lokomotivy nezávislé trakce či jiná pomocná vozidla, v kolejišti konvenční železnice, kde bude probíhat nakládka kontejnerů na nákladní vlaky a naopak, by měla být elektrifikována pouze obě zhlaví, kde by byla ukončena a lokomotivy by vždy zajížděly těsně pod konec trakčního vedení. Takovýto systém je zaveden např. v terminálu společnosti METRANS v České Třebové.



Obr. 7: Varianta P1. Kolem překladiště procházejí pouze dvě koleje, na nichž probíhá nakládka a vykládka kontejnerů. Toto řešení je sice jednoduché a levné, ale jeho zásadní nevýhodou je blokace průjezdu po trati stojícími vozidly, což znemožňuje průjezd např. spěchající zásilce nebo záložní lokomotivě.



Obr. 8: Varianta P2. Zde už místo úseku trati stojí v překladišti stanice s jednou kolejí navíc mezi hlavními kolejemi. I ta je v zabezpečovacím systému vybavena sektory, aby zde mohly být odbaveny některé spěchající zásilky, ovšem jejím primárním účelem je průjezd překladištěm bez nutnosti čekání na dokončení prací.

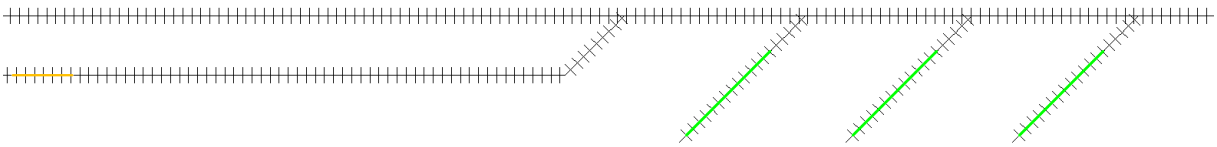
5.4. Trať

Trať je dvoukolejná s pravostranným provozem. Postranní napájecí kolejnice je z bezpečnostních důvodů vždy na vnitřní straně koleje, tedy mezi kolejemi. Právě kvůli použití spodního napájení a také absence strojvůdců by bylo vhodné celou trať **oplotit**, ovšem výstavba protihlukových stěn je naprosto vyloučena. Provoz totiž bude velmi tichý a i na koridorech v ČR je jejich nutnost více než diskutabilní. Kolem trati jsou rozmístěny vysílače pro veškerou komunikaci. Na konvenčních železnicích u systému GSM-R bývá vzdálenost mezi nimi kolem 5 km, záleží přitom na tvaru terénu a obloucích. Balízy se budou nacházet pouze před místy, kde je potřeba zpomalit, a to v nejdelší možné brzdné vzdálenosti s určitou rezervou. Při určování traťové rychlosti je třeba brát v potaz délku trati. Pokud by byla příliš krátká (do 5 km), není vhodné zavádět vysokou rychlost (nad 80 km/h), protože by se tím rapidně zvýšila spotřeba energie a časová úspora by neodpovídala vloženým nákladům. Nezapomínejme totiž, že spotřeba energie závisí na druhé mocnině rychlosti a v našem případě má navíc svislá čelní plocha kontejneru velký aerodynamický odpor. Až při větších vzdálenostech má smysl uvažovat o vyšších rychlostech, protože zde už bude časová úspora značná a pozitivně to ovlivní efektivitu celého systému.

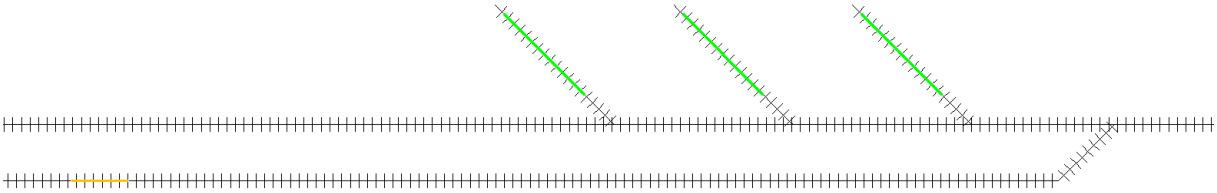
5.5. Průmyslová zóna

Všechny podniky jsou v průmyslové zóně rozmístěny ve dvou řadách. Mezi nimi prochází trať, z níž odbočují k továrnám vlečky. Každá továrna má též nouzovou silniční přípojku, podél jejíž krajnice parkují auta zaměstnanců, aby tak tato nebyla na obtíž v místech, kde se lidé běžně pohybují. Přípojka bude využívána spíše v případech výpadku systému a také po ní mohou jezdit dodávky s menšími zásilkami, které nejsou přiváženy příliš často. Řad továren pochopitelně může být i více, pak by z trati odbočovalo více kolejí, které mohou vést i do vzdálenějších oblastí.

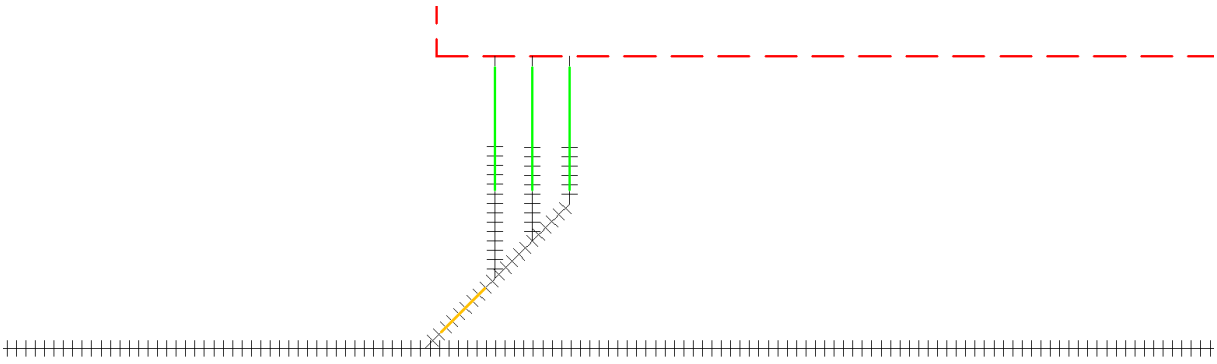
Ve všech variantách je trať procházející průmyslovou zónu **jednokolejná**. Aby každý vůz vjel do průmyslové zóny pomalu, vjíždí do ní odbočkou, tedy 40 km/h (to platí u všech výhybek v systému APŽ). Z této hlavní koleje odbočují do všech podniků vlečky. Napájení na kusých kolejích u továren končí co nejdál od rampy a na vozech je sběrač co nejvíce na „zadní“ straně (viz sekce *Vozidla*). Sběrač tedy vždy zajede těsně na konec postranní kolejnice. Aby v případech, kdy je potřeba uvolnit místo jiným zásilkám, mohly ostatní vozy uvolnit kolej, je před začátkem dvoukolejné trati vedlejší odstavná stanice, do které lze vjet pouze z průmyslové zóny. Trať končí poslední vlečkou, na samotném konci již žádná odstavná stanice není. V následujících schématech je pro zjednodušení vždy 6 továren a každá má 3 koleje, celkový počet firem, jak jsem již zmínil v *Popisu projektu*, by však měl být co nejvyšší, aby mělo smysl takto složitý systém stavět. Vedlejší odstavná stanice má 3 sektory.



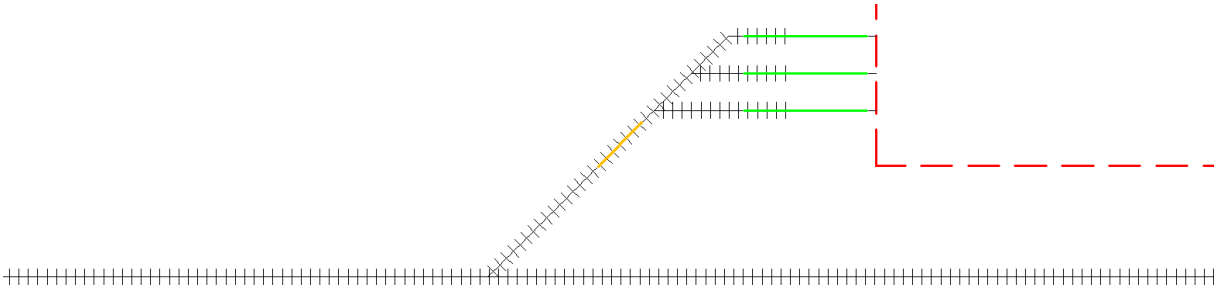
Obr. 9: Vedlejší odstavná stanice – varianta V1. Všechny výhybky, včetně té, kterou začíná dvoukolejná trať, jsou orientovány stejným směrem a jsou mezi nimi stejné vzdálenosti.



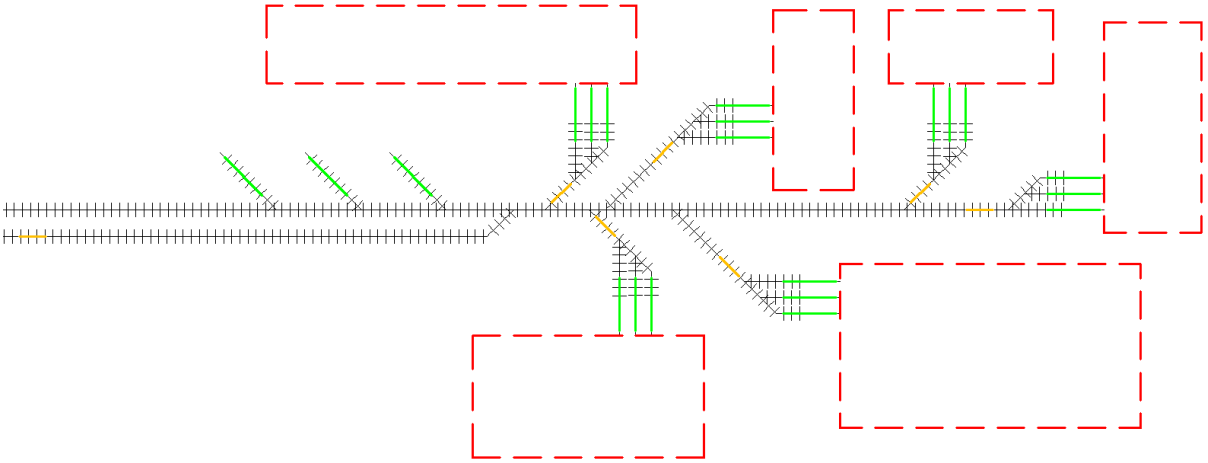
Obr. 10: Vedlejší odstavná stanice – varianta V2. Dvoukolejná trať začíná blíže k průmyslové zóně a koleje vybíhají již z ní.



Obr. 11: Přípojka k továrně – varianta T1. Kusé koleje jsou kolmé na hlavní kolej. Mezi továrnou a hlavní kolejí je více místa, které lze využít např. pro parkoviště a nouzovou silniční přípojku.



Obr. 12: Přípojka k továrně – varianta T2. Kusé koleje jsou rovnoběžné s hlavní kolejí. Továrna se tak může nacházet blíže k hlavní koleji a šetří se tím prostor okolo průmyslové zóny.



Obr. 13: Jedna z mnoha možných podob výsledné průmyslové zóny a kolejiště v ní. Předpokladem však je, že továren bude mnohem více, řádově desítky, a průmyslových zón s vlastními kolejišti taktéž může být více.

6. Organizace systému

Realizace takto komplikovaného systému se specifickými požadavky je komplikovaná nejen z hlediska technického, ale i ekonomického. V průmyslové zóně se setkávají desítky různých firem různého zaměření (nemusí jít pouze o továrny, ale např. o distribuční sklady, které také mívají velký obrat zboží, nebo dokonce o nákupní zóny či hypermarkety, pokud se takováto zóna nachází na kraji města). Pochopitelně nelze zavádět APŽ v již existujících průmyslových zónách. Nejprve by měl vzniknout **samotný základ systému** a po určitou dobu se budou různé firmy hlásit o možnost výstavby své pobočky v průmyslové zóně. Spolu s tím projednají se společností stavějící APŽ, jak by měla vypadat přípojka k té dané továrně (skladu, nákupního centra), kudy bude procházet, kolik bude mít kolejí a podobně. Všechny podniky tak budou vznikat kolem linie, kudy tato kolej povede.

Lze předpokládat, že společnost provozující APŽ bude též provozovat i překladiště. To by, jak jsem naznačil v úvodu, mělo fungovat u vytížené železniční trati a poblíž vytíženého silničního uzlu. O překládku se budou starat jeřábníci na vrcholech portálových jeřábů. Mezi nákladními vlaky konvenční železnice, stojícími v překladišti, se budou pohybovat dělníci zabezpečující samotné naložení a vyložení kontejneru. Totéž bude i v části APŽ, zde však také budou mít za úkol zajistit, aby dveře kontejneru směřovaly k průmyslové zóně a nikoliv naopak, a také dají dispečerovi informaci, pro koho je kontejner určen, a povolení k odjezdu. V dispečinku bude pracovat jeden dispečer řídící veškerý provoz (což s ohledem na pokročilé zabezpečení nebude příliš náročné). Pokud by systém APŽ byl opravdu velký, tedy s více průmyslovými zónami nebo dokonce s více překladišti, dispečerů může být více. Dále zde musí být dispečer pro kontrolu napájení a

ovládání měníren a operátor kontrolující správnou funkci zabezpečovače (tyto funkce může zastávat jeden člověk). Ti všichni musejí být připraveni na řešení případných mimořádných událostí. Ve směně bude vždy jeden strojvůdce záložní lokomotivy, který po dobu, kdy nebude docházet k žádné mimořádnosti, může vozit ostatní pracovníky na různá místa, např. do šaten, jídelny a podobně. Po dobu nečinnosti může také pomáhat dílenským pracovníkům. Ti budou v depu na vozech provádět pouze provozní ošetření a menší opravy. Také budou proškoleni pro opravy různých poruch na infrastruktuře, neboť k těm dochází poměrně vzácně a nevyplatilo by se pro ně mít zvláštní zaměstnance. V každé továrně bude vždy jeden pracovník, zaměstnaný nejspíše u společnosti provozující APŽ, který bude komunikovat s řídicím dispečerem a řídit činnosti v místní přípojce (ruční navádění vozů na konec rampy, dohled na nakládku a vykládku). Systém bude samozřejmě vyžadovat též různé administrativní a jiné pracovníky jako každá jiná firma.

7. Možné využití pro osobní dopravu

Budovat takovýto systém se vyplatí pouze při velkém počtu firem, které by jej využívaly. I dnešní moderní výrobní haly potřebují spoustu zaměstnanců a i v menších továrnách jich pracují stovky. A APŽ má obsluhovat desítky takovýchto podniků. Při takto vysokém počtu všech zaměstnanců stojí za zvážení, jestli by nebylo vhodné tento systém využít též pro návoz pracovníků do směny a jejich dopravu domů. Kolejová doprava obecně je totiž pro přepravy velkého množství lidí velice výhodná a v tomto případě mluvíme o tisících lidí, kteří by se během pár desítek minut (počítejme se stejným střídáním směn ve všech provozech) potřebovali dostat do jedné lokality. A pokud trať APŽ vede poblíž velkého města, kde řada lidí pracuje právě v naší průmyslové zóně, jsou výhody něčeho takového nesporné.

Taková doprava by mohla mít mnoho různých podob. Může jít o prosté železniční elektrické jednotky, které by kromě systému APŽ jezdily pouze po konvenční železnici. Tento způsob by se vyplatil v případě, že by hodně zaměstnanců žilo v různých menších sídlech, přes která vede moderní železniční trať a tato je výhodně trasována. Jinou možností je zavedení vlakotramvaje, jež by jezdila přímo do ulic nedalekého většího města. Tato varianta je výhodná zejména, pokud v daném městě již tramvaje jezdí. V obou případech by používané elektrické jednotky měly jak vrchní, tak spodní napájení, v případě tramvají ani není třeba řešit rozdíl v napětí, protože tramvajové systémy v ČR vždy používají stejnosměrné napětí 600 nebo 750 V, tedy stejně jako mnou navrhovaný systém. Těsně před místem, kde se trať napojí na APŽ, souprava přejde do módu automatického ovládání, centrálně řízeného stejným systémem, jaký řídí vozy APŽ, a také stáhne vrchní sběrač a aktivuje sběrače spodní.

V obou případech bude řešení obsluhy továren stejné. V klíčových místech vzniknou na jednokolejné trati **zastávky s nástupišti na obou stranách**, aby nikdo nemusel kolej přecházet, což je s ohledem na spodní napájení nevýhodné a hlavně krajně nebezpečné. Vchody do podniků tedy budou muset být i na straně kolejiště. Poloha zastávek by měla být řešena tak, aby na přístupových cestách do firem vzniklo co nejméně mimoúrovňových křížení s železnicí, ideálně žádná. Ve všech zastávkách řidič otevře dveře na obou stranách a posléze jejich zavřením dá zároveň pokyn zabezpečovači k odjezdu. Na konci kolejiště se místo poslední přípojky bude nacházet obratiště, které může buďto vypadat jako klasická tramvajová točna (aby řidič nemusel přecházet do druhé kabiny), nebo bude mít kusé koleje (nutné, pokud půjde o klasické vlaky). V takovém případě z něj může být přímo hlavová stanice, pokud je to výhodné.

Při očekávaném třísměnném provozu ve všech podnicích s klasickým střídáním směn v 6, 14 a 22 hodin bude muset do průmyslové zóny přijet najednou mnoho vlaků, ideálně z různých míst, a o chvíli později zase všechny hromadně odjedou. Mohou samozřejmě jezdit i např. v 8 hodin pro návoz administrativních pracovníků. Při takovém zatížení bude pravděpodobně muset po tuto dobu být omezen provoz nákladních vozů. Výhodnější by proto bylo střídání v různých hodinách s rozdílem třeba jen půl hodiny. O to může požádat správce infrastruktury, který by to zároveň sjednal tak, aby v různých zastávkách stavěly vlaky v různou dobu

(továrny v okolí každé z nich budou mít stejnou dobu střídání a jinou než skupiny podniků okolo jiných zastávek). Nemusely by tak příliš často zastavovat.

Výhody takového využití APŽ jsou nasnadě. Rapidně se tím sníží počet aut a autobusů a tím i výsledná spotřeba fosilních paliv a také emise. I pro samotné cestující by to mělo být pohodlnější. Nevýhodou je, že se tím zčásti omezí propustnost jednokolejné trati a tedy její využití nákladními vozy bude v době střídání směn složitější. A takové řešení je samozřejmě dražší pro realizaci, jeho provoz však může vycházet jako levnější v porovnání s autobusy, kterých by jinak byla potřeba spousta, pokud nechceme, aby zóna byla pod útokem tisíců aut.

8. Závěr

8.1. Nevýhody

- **Velmi nákladná realizace**. Na první pohled se může zdát, že budovat něco tak složitého a navíc ještě s vlastními specifickými vozy a zabezpečovačem, se ani zdaleka nemůže vyplatit. Může to být pravda, ovšem může se ukázat i opak, pokud bude vše využíváno optimálně a obsluhovaných továren bude maximum. Vložená investice se pak po čase může vrátit.
- Nezkušenost s takovýmto systémem. I kdyby došlo k realizaci takového systému, nebude mít doladěné všechny detaily, a tak se může ukázat jako poněkud méně výhodný.
- Nutnost překládky. I když je dlouhá přeprava kamionem neefektivní, je stále výhodná v tom, že nevyžaduje žádnou překládku, a tím se urychluje a na dělnících v překladištích tak nepřipadá práce navíc.
- Nutnost pracovní síly navíc. Klasické průmyslové zóny jsou odkázány pouze na řidiče kamionů, systém APŽ však vyžaduje i dispečery, dělníky v překladišti, dílenské pracovníky, záložního strojvůdce a další zaměstnance.

8.2. Výhody

- **Šetrnost k životnímu prostředí**. Samotný systém negeneruje žádné emise (nepočítáme-li tepelné elektrárny, to už je však jiný problém) a je prakticky bezhlučný (stačí srovnat kamion na dálnici a malý elektrický železniční vůz s nejtišími možnými podvozky). Systém APŽ je možná drahý, ale hodnotu kvalitního životního prostředí nelze jen tak vyčíslit, což platí i ve všech ostatních aspektech lidské činnosti.
- Nezávislost na fosilních palivech. Stačí pouze přípojka na energetickou síť a potřebné technické zázemí. Systém je tak, na rozdíl od současné silniční dopravy, do budoucna udržitelný.
- Eliminace složitých manipulací kamionů. Automatický vůz pouze přijede k továrně a stačí jen krátké navedení pár tlačítky. Kamiony se budou vyskytovat pouze v překladišti a zde nebudou muset složitě popojíždět.
- Interoperabilita s konvenční železnicí. Kdykoliv se může stát, že na koleje APŽ bude třeba z nějakého důvodu navézt něco speciálního z okolních železnic, co tím pádem nebude nutno překládat na kamiony, jako by to bylo nutné v klasických průmyslových zónách.
- Vyšší bezpečnost kolejové dopravy v porovnání se silniční dopravou.

8.3. Shrnutí

Železnice je v posledních letech na vzestupu a promítá se to ve všech jejích podobách, ať jde o příměstskou či dálkovou osobní dopravu nebo o nákladní dopravu, dnes především na větší vzdálenosti a v ucelených vlacích. Projevují se totiž její výhody, zejména ve spojení s životním prostředím. Uvědomují si to běžní lidé i vysoce postavení politici a platí to pro většinu Evropy. Není divu, že se dnes investuje převážně do

rozvoje železnic, a nikoliv silnic, které to tolik nepotřebují (množství aut už nejspíš nijak závratně nestoupne a naopak nejspíš bude časem docházet k útlumu automobilismu). Byla by velká škoda tyto možnosti nechat ladem, ovšem musejí se využívat k vytvoření **moderní železnice** s novými podmínkami, potřebami i možnostmi. K tomu patří zavádění nových standardů, jako jsou vysokorychlostní vlaky, rychlé dálkové kontejnerové nákladní vlaky či kapacitní příměstské vlaky. Nebo třeba neobvyklá kolejová obsluha místního průmyslu.

9. Použité zdroje

- Železniční magazín (různá čísla)
- http://www.hybrid.cz/tagy/superkondenzatory
- https://cs.wikipedia.org
- Kreslení schémat: Autodesk AutoCAD 2016 – studentská verze

10. Vypracoval

Zdeněk Fišr

Město: Chomutov

Škola: Střední průmyslová škola Chomutov, 3. ročník, obor Automatizovaná konstrukce ve strojírenství

K prvnímu nápadu na systém podobný APŽ jsem přišel během své praxe (organizované školou) v jedné z továren v průmyslové zóně v Chomutově na přelomu května a června 2015. Měl jsem tu možnost sledovat složitou práci řidičů kamionů, kteří kromě přesného najíždění k rampě často musejí měnit návěsy a pak pod ně i s plošinou přesně najet. Na první pohled to vůbec nebyla lehká práce. A právě tehdy mě napadlo, že by tyto problémy odpadly, pokud by se zboží i do moderních továren naváželo po kolejích (což je dnes velice vzácné). Postupem zbytku roku jsem pak svůj nápad vylepšoval, až nakonec vznikla tato práce.

E-mail: Zdenek.Fisr@email.cz