

Jakub Marek, Ivo Myslivec, Michal Bubeník¹

Návrhy úprav funkčního chování ERTMS/ETCS při dohledu cíle na generické úrovni

Klíčová slova: železniční zabezpečovací technika, VZZ, kontrola rychlosti, brzdné křivky, EBD, SBD, GUI, dohledové limity, strojvedoucí, AVV, ATO, rozhraní DMI, ERTMS, ETCS

Anotace

Příspěvek se zabývá Evropským vlakovým zabezpečovacím systémem ERTMS/ETCS (dále jen ETCS). Přibližuje čtenáři, jak lze aproximovat brzdění vlaku a hlavní myšlenky, jak vylepšit generické výpočty brzdných křivek, resp. dohledových limitů ETCS, aby došlo ke zvýšení propustnosti železničních tratí, a tedy i kapacity dráhy, ale též ke zvýšení bezpečnosti železničního provozu. Toto již bylo autory tohoto příspěvku popsáno v zahraničním periodiku SIGNAL+DRAHT (112) 3/2020 s cílem rozpoutat diskusi na EU úrovni vedoucí – v ideálním případě – ke změně generických specifikací ETCS, která by umožnila zohledňovat aktuální stupeň zabrzdění vlaků, které již brzdí k cíli, což dnes není umožněno a což velmi prodlužuje předpokládané brzdné dráhy a činí tak ETCS více restriktivním. Tento příspěvek se na uvedenou problematiku dívá z jiného úhlu pohledu, více je věnována pozornost popisu dynamiky vlaku během procesu brzdění, nadto je zde také poprvé uveden návrh změn souvisejících s novým zobrazováním na displeji pro strojvedoucího DMI. Rovněž je zde krátce zmíněn postup související se změnami EU specifikací ETCS (tzv. CCM proces), který by bylo dobré v této souvislosti iniciovat.

¹ **Ing. Jakub Marek, Ph.D.** (*1984), odborné zaměření: železniční zabezpečovací technika, ERTMS, ETCS. Pracoviště: AŽD Praha s.r.o., Žirovnická 3146/2, Záběhlice, 106 00 Praha 10, závod Technika, Výzkum a vývoj, pracoviště VP13 (VZ ETCS); zástupce AŽD Praha s.r.o. v pracovní skupině UNISIG SG, která tvoří technické specifikace ERTMS/ETCS, člen IRSE, London. E-mail: marek.jakub@azd.cz. Vzdělání: Dopravní prostředky a infrastruktura – Elektrotechnická zařízení v dopravě (2006 Bc., 2008 Ing., 2014 Ph.D.); Univerzita Pardubice, DFJP, Studentská 95, 532 10 Pardubice.

Dr. Ing. Ivo Myslivec (*1967), odborné zaměření: řídicí systémy kolejových vozidel, CRV, AVV, ATO over ETCS (AoE). Pracoviště: AŽD Praha s.r.o., Žirovnická 3146/2, Záběhlice, 106 00 Praha 10, závod Technika, Výzkum a vývoj, pracoviště VP01 (CRV&AVV); dříve Výzkumný Ústav Železniční (VUZ Praha). E-mail: myslivec.ivo@azd.cz. Vzdělání: Technická kybernetika (1990 Ing.); ČVUT Praha, FEL, Technická 1902/2, 166 27 Praha 6; Elektrická trakce a pohony (1995 Dr.); VŠDS Žilina, Moyzesova 967/20, 010 01 Žilina.

Ing. Michal Bubeník (*1991), odborné zaměření: železniční zabezpečovací technika, ERTMS, ETCS. Pracoviště: AŽD Praha s.r.o., Žirovnická 3146/2, Záběhlice, 106 00 Praha 10, závod Technika, Výzkum a vývoj, pracoviště VP13 (VZ ETCS). E-mail: bubenik.michal@azd.cz. Vzdělání: Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě (2014 Bc., 2016 Ing.); Univerzita Pardubice, DFJP, Studentská 95, 532 10 Pardubice.

Annotation

This contribution deals with European Train Control System ERTMS/ETCS (hereafter only ETCS). It provides the reader with the possibilities of how trains' braking can be approximated as well as the main ideas of how the generic calculations of the ETCS braking curves, or more precisely the ETCS supervision limits, can be improved to increase headways, and thus also the capacity of railway as well as its safety. This has already been published in SIGNAL+DRAHT (112) 3/2020 by the authors with the aim of initiating a discussion at the EU level, leading – in the ideal case – to a change of the generic ETCS specifications. This change would enable ETCS to consider the current level of braking of trains that are already braking to a target, which is not possible today and which prolongs the expected braking distances and thus makes ETCS more restrictive. This is viewed from a different angle in this contribution. More focus is given to the description of train dynamics during the braking phase. Moreover, the proposal of new indications for the driver is also presented in this article (for the first time). A process related to changes of the EU ETCS specifications (so-called “CCM process”), which should be initiated in this context, is shortly described as well.

Úvod

V mnoha státech Evropské unie (ale také mimo ni) dnes probíhá rozsáhlá implementace Evropského vlakového zabezpečovacího systému ERTMS/ETCS (z angl. *European Rail Traffic Management System / European Train Control System*), s cílem sjednotit evropskou železnici a vytvořit tak jednotný Evropský železniční prostor SERA (z angl. *Single European Railway Area*). Za tímto účelem je budování tohoto systému zabezpečení velmi podporováno Evropskou unií. Rozsáhlá implementace se týká i České republiky, kde se aktuálně buduje traťová část ERTMS/ETCS (dále jen ETCS) na téměř 1 000 km železničních tratí (viz např. [6]). Vedle sjednocování evropské železnice ovšem ETCS přinese taktéž výrazné zvýšení bezpečnosti železničního provozu, neboť jde o vlakový zabezpečovač s úplnou kontrolou rychlosti jízdy vlaku.

Avšak ukazuje se, že systém ETCS je při dohledu cíle restriktivní (viz např. [7]), a to více, než by bylo třeba. Autoři tohoto článku provedli teoretickou analýzu brzdných křivek ETCS, resp. výpočtů dohledových limitů (viz [2]) a aktuálně se snaží iniciovat změnu EU specifikací ETCS, tak aby došlo k vylepšení vlastností při dohledu cíle, tedy ve fázi, kdy ETCS začíná dohlížet snižování rychlosti dle brzdných křivek. Brzdné křivky, obecně pak brzdný model, využívá ETCS k predikci potřebné brzdné dráhy, která je nutná k tomu, aby vlak snížil svou okamžitou rychlost na novou hodnotu odpovídající rychlosti cílové. *Poznámka: Více detailů o brzdném modelu ETCS a o možnostech jeho statického nastavení na národní úrovni lze nalézt v článku jednoho z autorů tohoto příspěvku, publikovaném ve Vědeckotechnickém sborníku ČD č. 47/2019 [4], či v příspěvku, prezentovaném na 9. konferenci Zabezpečovací a telekomunikační systémy na železnici v Českých Budějovicích [8].*

Výše zmíněná predikce potřebné dráhy by měla dle názoru autorů lépe zohledňovat aktuální stupeň zabrzdění vlaků, které již brzdí k cíli. Toto dnes není dostatečně reflektováno v ETCS a prodlužuje to tak předpokládanou brzdnou dráhu, což činí

ETCS nadměru restriktivním, a v konečném důsledku vede k nutnosti používání tzv. uvolňovacích rychlostí a s tím souvisejícím úpravám na straně infrastruktury². Toto tvrzení potvrzují jak zkušenosti z praxe – viz například poznatky z projektů realizovaných dle 2. základní verze specifikací ETCS, tedy z pilotního projektu ETCS Level 2 v ČR Poříčany–Kolín, či nedávno provedená měření na prvním „komerčním projektu“ ETCS Level 2 Břeclav–Kolín [7], tak také nedávno provedený teoretický rozbor [2], založený na nejnovějších specifikacích ETCS, tedy dle jejich 2. vydání 3. základní verze (Baseline 3 Release 2, dále jen B3R2), resp. též dle jejich 2. vydání 3. základní verze opravené dle technického stanoviska Agentury Evropské unie pro železnice (ERA) z roku 2017 (Baseline 3 Release 2 – Service Pack 10 (2017), dále jen B3R2-SP10 (2017)).

1 Proces brzdění a možné způsoby odvození brzdě dráhy

Dříve než přejdeme k tomu, jakým způsobem si ETCS vytváří představu o tom, kdy je nejpozději nutno zavést brzdění, ať už rychločinné (nouzové), či úplné provozní (viz kap. 2), pojďme se podívat na to, jak u vlaku toto brzdění skutečně probíhá a jaký to má vliv na průběh rychlosti v závislosti na ujeté dráze. Vzhledem k charakteru pneumatické brzdy nepřímocinné (samočinné), což je základní brzda používaná v železniční dopravě (dále jen brzda UIC), je brzdění komplikovaný a rovněž komplikovaně popsatelný proces. Pro lepší pracování s ním se již v minulosti zavedlo níže naznačené zjednodušení (viz obr. 1) [5].

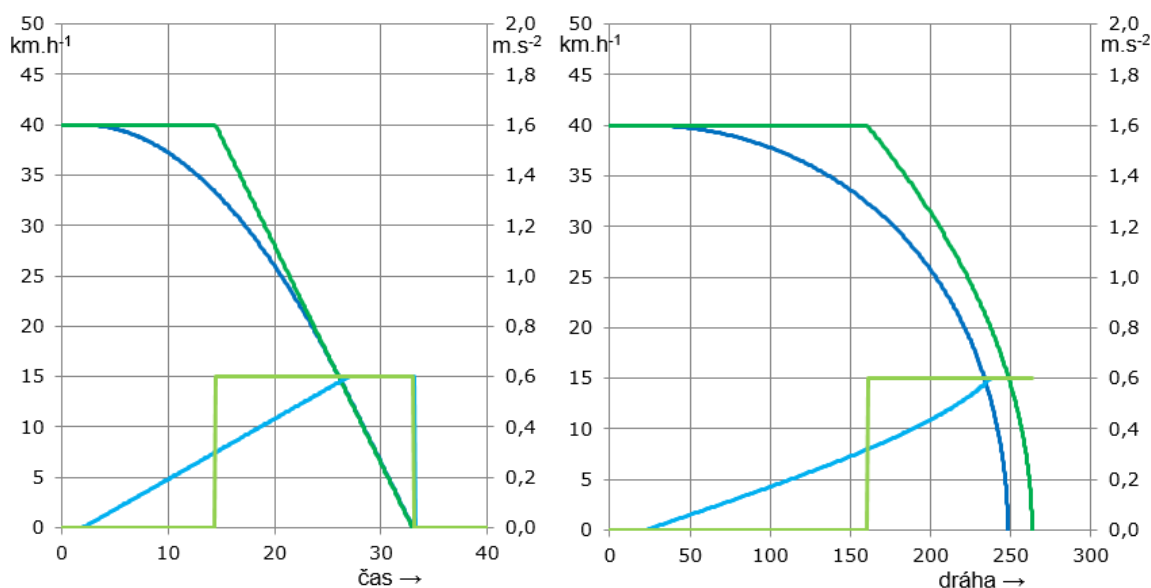
Pro lepší porozumění nejprve stručně popíšeme, jak jsou dále popisovaná zjednodušení odvozena. Prvním stupněm přiblížení (zjednodušení) je linearizace obecného přechodového děje rampou s konstantní strmostí změny. Takový model pracuje se dvěma časy – viz vzorec (1): dobou průtahu, dále jen prodlevy t_{prodleva} (kdy ještě není žádná odezva) a dobou náběhu $t_{\text{náběh}}$ (kdy odezva lineárně narůstá z nuly na 100 %), přičemž počátek a konec náběhu zpravidla odpovídají 5 % a 95 % původního nelinearizovaného průběhu. V případě průběžné pneumatické brzdy UIC, kde jsou změny tlaku vzduchu jak v hlavním potrubí (jen při provozním brzdění), tak i v brzdovém válci (zde již i při nouzovém brzdění) časovány pomocí dýz, dává linearizovaný model velmi dobré výsledky a liší se od skutečnosti jen nevýznamně (a s ohledem na skutečný průběh nárůstu tlaku pesimističtějším směrem).

Druhým stupněm přiblížení (zjednodušení) je náhrada rampy skokovou změnou v polovině doby náběhu, kdy původní lineární přechodový děj dosahuje 50 % odezvy. Toto zjednodušení si můžeme představit jako rozdělení původního trojúhelníkového náběhu na trojúhelník a lichoběžník (každý s poloviční základnou) a následné překlopení menšího trojúhelníku na lichoběžník, čímž vznikne obdélník se stejnou plochou, jako původní trojúhelník. Právě podle této rovnosti ploch je čas, kdy dochází ke skokové změně, nazýván ekvivalentní dobou odezvy (názvosloví ETCS hovoří o náběhu) t_e .

² Ať už jde o nutnost zajišťování ochranné dráhy přímo stavební úpravou na trati, resp. ve stanici [9], či o nutnost zavádění a používání nové vlakové cesty – vlakové cesty s prodlouženou ochranou dráhou (zkráceně VCP) /viz např. zde [10]/, která uměle vytváří a drží výluky současně zakázaných jízd také za koncem vlakové cesty.

1.1 Model náběhu brzdy ze zcela odbrzděného stavu

Na obr. 1 je možno vidět dva možné způsoby aproximace náběhu brzdy: (i) skokovou funkcí, kdy po uplynutí tzv. ekvivalentní doby náběhu brzdy (t_e), tedy doby prodlevy a poloviny doby náběhu, změni odrychlení skokově svou hodnotu z 0 m.s^{-2} na hodnotu maximálního dosažitelného odrychlení (viz zelené křivky); (ii) lineární funkcí, která pouze po dobu prodlevy brzdy zůstává na hodnotě 0 m.s^{-2} , pak roste lineárně až do maximálního dosažitelného odrychlení (viz modré křivky). Tento model popisuje situaci, kdy brzda nabíhá ze zcela odbrzděného stavu. Rozdíl výstupů obou přístupů pro vlak brzdící z rychlosti 40 km.h^{-1} je vidět na obrázku (viz paty parabol na levém grafu obr. 1).



Obr. 1 – Aproximace doby náběhu rychločinné brzdy pro vlak s maximálním odrychlením $0,6 \text{ m.s}^{-2}$, dobou prodlevy 2 s a dobou náběhu 25 s

ETCS využívá aproximaci skokovou funkcí, viz [1], či [4], pro výpočet ekvivalentní doby náběhu (odezvy) brzdy t_e tedy platí, že:

$$t_e = t_{\text{prodleva}} + \frac{t_{\text{náběh}}}{2} \quad [s; s, s] \quad (1)$$

kde t_{prodleva} = doba prodlevy (reakce) brzdy;
 $t_{\text{náběh}}$ = doba náběhu brzdy, tj. vyvinutí 95 % úplné brzdné síly F_b .

Poznámka: Ekvivalentní doba náběhu (odezvy) brzdy t_e je v ETCS označována jako T_{be} pro rychločinné (nouzové) brzdění, popř. T_{bs} pro úplné provozní brzdění.

Zde je třeba poznamenat, že aproximace skokovou funkcí je jednodušší, pro výpočty snazší a navíc bezpečnější (z pohledu odhadu ujeté dráhy – viz též dále). ETCS totiž v tomto případě při převodu ekvivalentní doby náběhu brzdy uvažuje, že vlak jede delší dobu rychlostí vyšší (V_{est} změřenou na začátku výpočtu), i když už skutečně

brzdí a snižuje svou rychlost, a tedy při použití této aproximace ujede delší dráhu (viz paty parabol v pravém grafu obr. 1), což je – jak již bylo uvedeno – bezpečnější, ovšem – jak si ukážeme dále – také více omezující z hlediska provozního.

Doposud jsme se věnovali vlivu použitého modelu náběhu brzdy na brzdnou dráhu z tohoto modelu odvozenou. Zajímavé je také se podívat na to, jak je možno reflektovat brzdění z již částečně zabrzděného stavu, kdy vlak již zpomaluje s určitým odrychlením, a tedy brzda již brzdí, v průběžném potrubí UIC brzdy je tlak nižší, než je tlak jmenovitý (kap. 1.2), resp. na to, jak je možno reflektovat brzdění sice ze zcela odbrzděného stavu, zato v situaci, kdy na požadovaný pokles rychlosti není nutno využít celý náběh brzdy (kap. 1.3).

1.2 Model náběhu brzdy z již částečně zabrzděného stavu

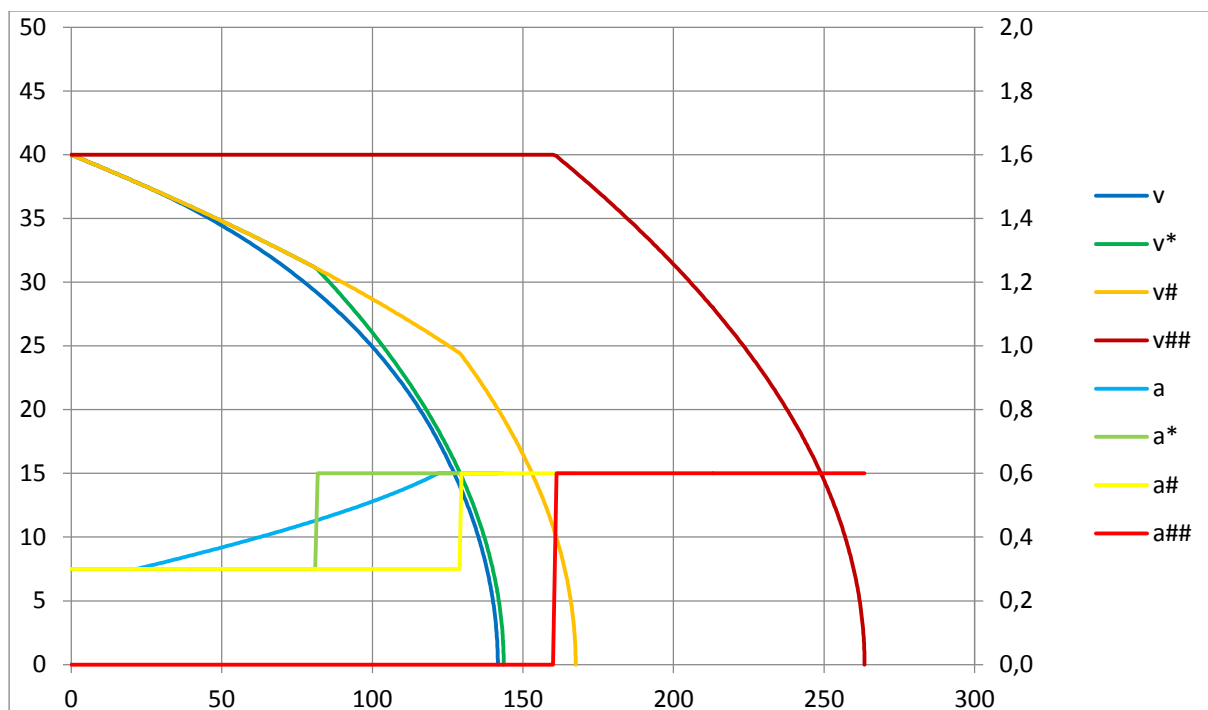
Pokud vlak již brzdí, a tedy zpomaluje s určitým odrychlením ($a_{\text{brzdné}} > 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), je třeba toto zohlednit v modelu náběhu brzdy (obr. 1), aby se jeho výstupy přiblížily co nejblíže realitě. Především musíme správně popsat chování vlaku během doby prodlevy, kdy ještě není žádná odezva na zvyšování účinku brzdy. Na rozdíl od vlaku zcela odbrzděného totiž stav bez odezvy neznamena úplnou absenci odrychlení, ale pokračující zpomalování vlaku původním odrychlením. Dále pak musíme přezkoumat i samotný náběh. Zatímco u lineárních systémů znamená menší změna na vstupu i pomalejší změnu na výstupu a ve výsledku stejnou dobu náběhu, u pneumatické brzdy UIC s mnoha časovacími dýzami je chování jiné, více se blíží konstantní strmosti změny na výstupu.

Na již brzdící vlak tedy můžeme nahlížet tak, že poměrná část původní doby náběhu, potřebná k dosažení aktuálního účinku brzdy, již uplynula a úměrně tomu se zkrátila i „zbytková“ doba náběhu potřebná ke zvýšení účinku brzdy z aktuálního na konečný.

Nabízí se tedy uvažovat odrychlení $a_{\text{brzdné}} (> 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2})$ jako výchozí, tj. že se vlak:

- (a) pohybuje pohybem rovnoměrně zpomaleným během doby prodlevy (t_{prodleva}) a pak se jeho odrychlení vlivem vývinu brzdné síly (během zkrácené doby $t_{\text{náběh}}$) lineárně zvyšuje až na hodnotu maximálně dosažitelnou [1. stupeň zjednodušení, viz průběhy v a a na obr. 2].
- (b) pohybuje během korigované ekvivalentní doby náběhu brzdy (t_e^*) pohybem rovnoměrně zpomaleným [2. stupeň zjednodušení, viz průběhy v^* a a^* na obr. 2],
- (c) pohybuje během ekvivalentní doby náběhu brzdy (t_e) pohybem rovnoměrně zpomaleným [3. stupeň zjednodušení, viz průběhy $v\#$ a $a\#$ na obr. 2],

V této souvislosti je třeba poznamenat, že v ETCS dle dnešních specifikací platí, že se neuvažuje záporné zrychlení [1], či [2], a naopak se vždy uvažuje s konstantní, tedy nekorigovanou ekvivalentní dobou náběhu brzdy (t_e) – viz průběhy $v\#\#$ a $a\#\#$. Tedy v případě, že vlak již brzdí ($a_{\text{brzdné}} > 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), je tato skutečnost zanedbána, a tedy se při výpočtech poloh dohledových limitů uvažuje s $a_{\text{brzdné}} = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Toto opět reprezentuje bezpečnější aproximaci, ovšem, jak bylo zjištěno a také dokázáno autory tohoto článku v [2], má to neblahý vliv na provozní vlastnosti systému jako takového, zejména na schopnost dojezdu vlaku ke konci oprávnění k jízdě, či k jakémukoli omezení rychlosti.



Obr. 2 – Vliv způsobu aproximace náběhu nouzové brzdy při odhadu brzděné dráhy (vodorovná osa: brzděná dráha v metrech, levá svislá osa: rychlost v $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, pravá svislá osa: odrychlení v $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)

Jak je vidět, už při porovnání brzdění z rychlosti $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ tvoří rozdíl odvozených brzděných drah (červený [v## a a##] vs. zelený [v* a*] či modrý [v a a]) model) více než 100 m. Při brzdění z vyšších rychlostí by rozdíl byl samozřejmě větší. Nejlepších výsledků dosahuje model modrý, který uvažuje lineární aproximaci pro náběh brzdy (viz obr. 2).

1.3 Model náběhu brzdy při malém rozdílu skutečné a cílové rychlosti

V předchozí podkapitole (kap. 1.2) jsme viděli, že již probíhající brzdění má velký vliv na pokles rychlosti a ujetou dráhu během přechodového děje, a tedy i na polohu konce přechodové trajektorie vůči decelerační křivce úplného brzdění. Tento vliv bychom mohli pojmenovat jako zkrácení přechodového děje zleva (podle toho, že se trojúhelníkový náběh brzdy vycházející z nulového odrychlení mění na lichoběžníkový náběh vycházející z odrychlení již existujícího). To však není jediné zkrácení přechodového děje, které musíme uvažovat. V této kapitole se podíváme na zkrácení tohoto přechodového děje vlivem malého rozdílu skutečné a cílové rychlosti.

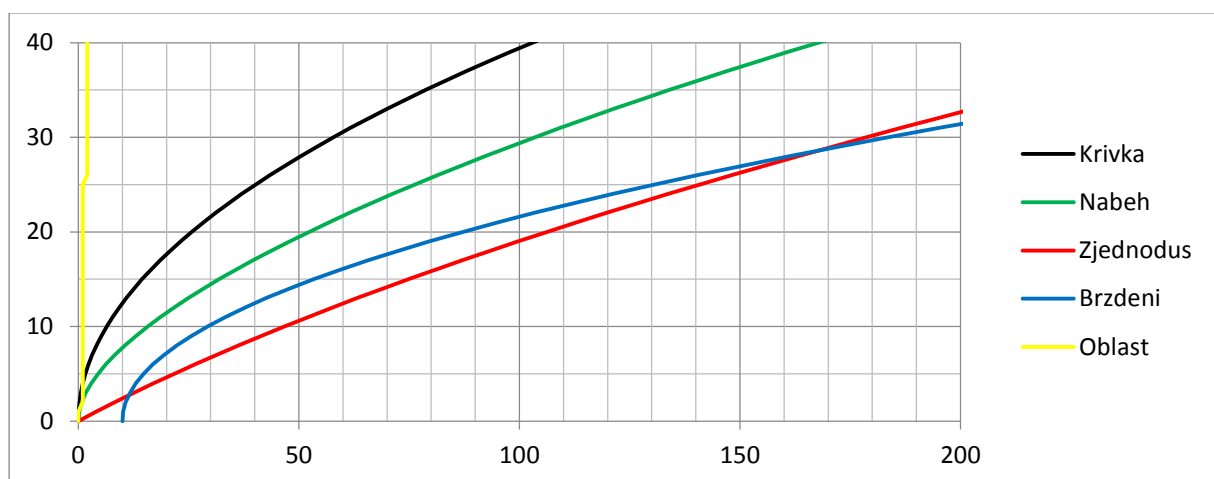
V našich úvahách se musíme vrátit k rovnosti ploch pod průběhem zrychlení, kterou jsme zmiňovali v úvodu této kapitoly (a kterou jsme dokládali oprávněnost náhrady lineárního náběhu skokem v jeho polovině). Plocha pod průběhem zrychlení totiž představuje pokles rychlosti během přechodového děje a zatím jsme mlčky předpokládali, že je tato plocha menší, než je rozdíl skutečné a cílové rychlosti – jinými slovy, že se přechodový děj odehraje celý. To však zejména v závěru přibližování k cíli neplatí a vlak stačí zastavit (resp. podkročit nenulovou cílovou

rychlost) ještě předtím, než dosáhne maximálního odrychlení (při velmi malé rychlosti a dostatečné hloubce zabrzdění dokonce ještě předtím, než uplyne prodleva brzd). Na tuto skutečnost již bylo upozorňováno také v prezentaci [11]. Vidíme tedy, že přechodový děj může být omezen i zprava.

1.4 Shrnutí k modelu náběhu brzdy

Pokud by měl být výpočet zcela korektní, mělo by být ověřeno, zda přechodový děj (samozřejmě ten, který respektuje již probíhající brzdění) vůbec proběhne celý. Pokud ano, můžeme dále postupovat podle kapitoly 1.2, pokud však ne, musí být dopočteno odrychlení, při kterém bude dosaženo cílové rychlosti, a spočtena ujetá dráha takto oboustranně zkráceného přechodového děje. Pozorný čtenář si v tuto chvíli jistě povšiml, že v případě nutnosti zkrácení zprava je nutné vycházet z modelu s linearizovaným přechodovým dějem. Ukazuje se tedy, že druhý krok zjednodušení přechodového děje, využívající skokové změny po ekvivalentní době náběhu brzdy, je nadále neudržitelný, protože ze součtu doby prodlevy a poloviny doby náběhu (1) nelze zpětně rekonstruovat původní sčítance, potřebné pro korektní výpočet.

Následující obrázek (viz obr. 3) ukazuje detail závěrečné fáze přibližování k cíli při probíhajícím brzdění, tentokrát v podobě potřebné vzdálenosti počátku přechodového děje v závislosti na rychlosti. Zpomalovací křivka ETCS (černá, EBD, z angl. *Emergency Brake Deceleration*) je vypočtena pro odrychlení $0,6 \text{ m.s}^{-2}$, skokové zjednodušení náběhu brzdy (červená, EBI, z angl. *Emergency Brake Intervention*) i korektní způsob výpočtu dle této kapitoly (zelená, EBI') jsou spočteny pro dobu prodlevy 2 s a dobu lineárního náběhu 25 s (tyto dvě křivky de facto představují zásahové křivky zabezpečovače [červená = dnešní ETCS, zelená = ETCS dle návrhu autorů tohoto příspěvku, resp. článku [2]]). Křivka probíhajícího brzdění (modrá, brzdící vlak), která reprezentuje již brzdící vlak, je spočtena pro odrychlení $0,2 \text{ m.s}^{-2}$ a zastavení 10 m před cílem. Žlutá čára svými odskoky znázorňuje hranice mezi oblastmi, kde přechodový děj náběhu brzdy proběhne celý (nad 25 km.h^{-1}), kde jen částečně (mezi 2 a 25 km.h^{-1}) a kde ani neuplyne prodleva (pod 2 km.h^{-1}).



Obr. 3 – Ukázka závěrečného přibližování k cíli při probíhajícím brzdění (vodorovná osa: vzdálenost od cíle v metrech, svislá osa: rychlost v km.h^{-1})

Z obr. 3 je zřetelně vidět, že ačkoliv vlak brzdí přiměřeným účinkem a včas (což lze doložit i tím, že modrá křivka skutečného brzdění leží pod zelenou „korektní“ zásahovou křivkou), přesto v určitém rozmezí rychlosti překračuje červenou zásahovou křivku spočtenou zjednodušeným výpočtem s konstantním t_e při uvažování konstantní rychlosti V_{est} . I přes včasný začátek brzdění tak vzniká oblast, kde dojde k nežádoucímu zásahu zabezpečovače – v tomto modelovém případě se tak stane v rychlosti lehce pod 30 km.h^{-1} ve vzdálenosti cca 170 m a vlak zastaví o cca 75 m dříve, což už většinou může mít fatální vliv například u dlouhého nákladního vlaku na uvolnění zadního námezníku, nebo u osobního vlaku na dojetí k místu obvyklého zastavení pro nástup a výstup cestujících, pokud leží blízko konce oprávnění k jízdě (návěstidla).

2 Predikce brzdné dráhy v ETCS, vč. odvození souvisejících dohledových limitů a popisu vlivu úrovně zabrzdění vlaku

2.1 Význam dohledových limitů

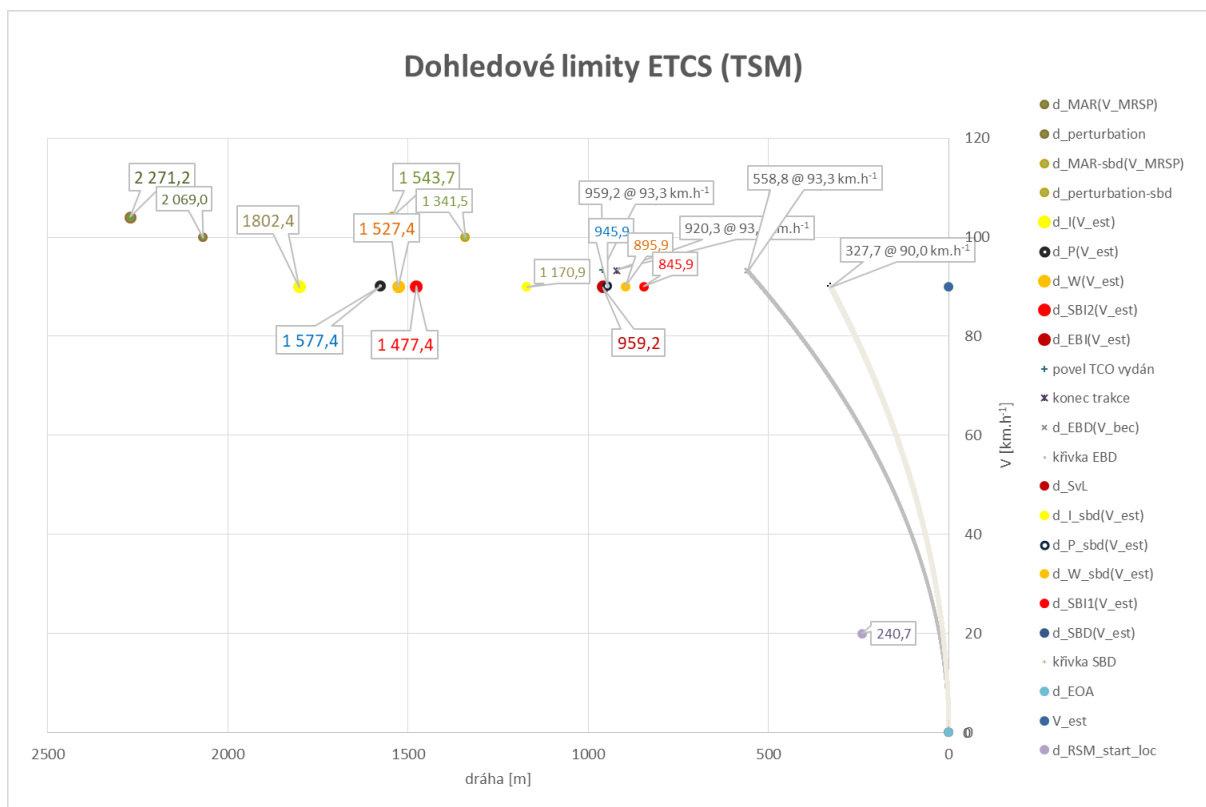
Mobilní část ETCS si pro každý cíl počítá polohy dohledových limitů, které slouží pro zajištění dostatku času pro vykonání požadovaných akcí při dohledu cíle (TSM, z angl. Target Speed Monitoring), tedy slouží ke kontrole a zajištění, že stále existuje dostatek času, resp. dráhy pro strojvedoucího (indikace), pro náběh brzdy (intervence) a pro následné zastavení/zpomalení vlaku – tedy s již plně naběhlou brzdou, tedy dle brzdné křivky EBD (z angl. *Emergency Brake Deceleration*), či SBD (z angl. *Service Brake Deceleration*), což se vše musí odehrát ještě předtím, než čelo vlaku mine dohlížený cíl (nedovolenou rychlostí). Minutí určitého dohledového limitu spouští reakci mobilní části ETCS – indikaci strojvedoucímu (optickou, popř. zvukovou), či přímo intervencí do jízdy vlaku (zavedení brzdění)³. V podstatě jde o průsečíky předpokládané trajektorie vlaku s „dohledovými a zásahovými křivkami“, které si ovšem mobilní část ETCS jako takové nepočítá, počítá si pro danou okamžitou rychlost a zrychlení jen tyto průsečíky, tzv. dohledové limity.

Příklad dohledových limitů vypočtených pro EOA/SvL dle [2] je na obr. 4.

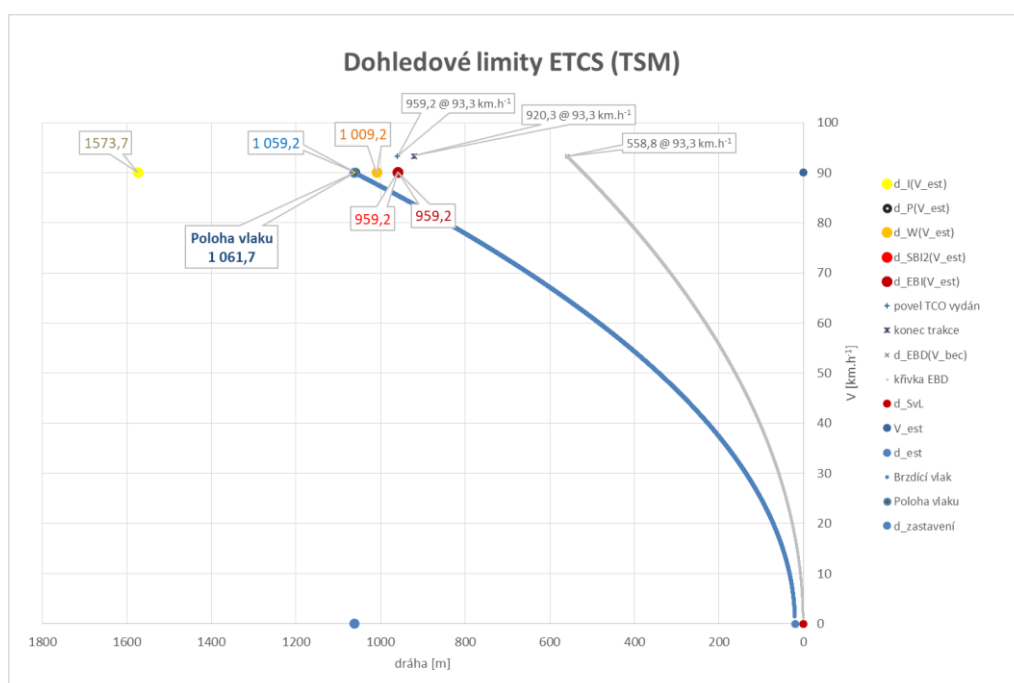
Pro zjednodušení a snazší pochopení bude pro následující úvahy v tomto příspěvku zakázáno používat provozní brzdu při dohledu cíle (TSM)⁴, nebudou také zobrazeny dohledové limity odvozené od křivky SBD (úplného provozního brzdění), dále nebudou zobrazeny polohy související s tím, kdy si B3 vlak, resp. jeho mobilní část ETCS, požádá RBC o nové MA, tedy poloha prvního možného ovlivnění vlaku (perturbation) a poloha d_{MAR} , kterých se stejně úprava navržená autory netýká. Stejně tak nebude zobrazena poloha pro přechod z dohledu cíle (TSM) do dohledu uvolňovací rychlosti (RSM, z angl. *Release Speed Monitoring*) – na obr. 4 je tato odvozena pro rychlost 20 km.h^{-1} ($d_{RSM_start_loc}$). Dále tedy budeme pracovat se zjednodušeným obr. 5.

³ Význam jednotlivých dohledových limitů je detailně popsán v příspěvku [4], s. 13 a 14.

⁴ Stejně tak je to dnes na většině projektů ETCS v České republice.



Obr. 4 – Ukázka dohledových limitů ETCS pro 640 m dlouhý nákladní vlak, který má $\lambda = 117 \%$ s režimem brzdění G ($A_{\text{brzdné}} = 0,6 \text{ m.s}^{-2}$, $T_{\text{be}} = 15,45 \text{ s}$ a $T_{\text{bs}} = 20,73 \text{ s}$) [při výpočtech poloh výše nebylo uvažováno s nejistotou měření ujeté dráhy]



Obr. 5 – Vybrané dohledové limity ETCS odvozené od křivky EBD (nouzového [rychločinného] brzdění), pro $A_{\text{est}} \leq 0 \text{ m.s}^{-2}$

Dá se snadno dokázat (viz [2], kde to bylo provedeno), že vlak na obr. 5 brzdící z naznačené polohy (1 061,7 m) s konstantním odrychlením $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ k dohlíženému cíli – SvL (Supervised Location) by byl nežádoucně zabrzděn ETCS (cca 650 m před tímto cílem), a to i přes to, že by s daným odrychlením zastavil 20 m před tímto cílem (pohybem rovnoměrně zpomaleným by zastavil z rychlosti $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ na dráze cca 1 041,7 m – viz modrou parabolou na obr. 5, která reprezentuje brzdění [snižování rychlosti] tohoto vlaku, s patou právě zmíněných 20 m před tímto cílem).

Ukazuje se (viz [2]), že je to způsobeno tím, že ETCS přepočítává potřebné časy na dráhy, na základě nichž odvozuje polohy dohledových limitů (viz např. obr. 4, či 5), s uvažováním jízdy konstantní rychlostí, čímž – pro již brzdící vlaky ($A_{\text{est}} \leq 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) – dostává nadhodnocené dráhy.

2.2 Popis současného stavu

Jak již bylo naznačeno výše, v principu je třeba zajistit čas pro strojvedoucího, aby mohl snížit dostatečně rychlost vlaku, aby nepřekročil rychlost dovolenou ($T_{\text{indication}}$); dále, aby snížil rychlost vlaku, aby nedošlo k zásahu ETCS (T_{driver}); dále pak pro provozní brzdění, aby brzda stihla úplně naběhnout (T_{bs}), aby nebylo zavedeno brzdění nouzové (rychločinné); pro rychločinné brzdění, aby stihla brzda úplně naběhnout (T_{be}) a pro vlak, aby stihl včas zastavit/zpomalit před dohlíženým cílem (t_{braking}), kdy se pohybuje po křivce EBD, pro níž platí: $v = f(A_{\text{safe}})$. Z těchto časů vypočítává ETCS dohledové limity, tedy převádí je na dráhy. Aktuálně to dělá tak, že s nimi pracuje (v principu) následovně (pozn. na ukázce níže je naznačeno stanovení Indikačního dohledového limitu (d_i), což je současně i místo (poloha), v níž ETCS přechází z dohledu konstantní dovolené rychlosti (CSM, z angl. *Ceiling Speed Supervision*) do dohledu cíle (TSM))⁵:

- pro vlak jedoucí konstantní rychlostí, či již snižující rychlost ($A_{\text{est}} \leq 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$):

$$d_{\text{CSM/TSM}} = \int_0^{t_{\text{braking}}} v(A_{\text{safe}}) dt + \int_{t_{\text{braking}}}^{t_{\text{braking}}+T_{\text{be}}+T_{\text{bs}}+T_{\text{driver}}+T_{\text{indication}}} V_{\text{est}} dt \quad (2)$$

- pro vlak, který zrychluje ($A_{\text{est}} > 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$):

$$d_{\text{CSM/TSM}} = \int_0^{t_{\text{braking}}} v(A_{\text{safe}}) dt + \int_{t_{\text{braking}}}^{t_{\text{braking}}+T_{\text{be}}} v(A_{\text{est}}) dt + \quad (3)$$

⁵ Platí pro mobilní části ETCS dle specifikací B3R2 a B3R2-SP10 (2017), dle specifikací B3MR1 k tomuto přepnutí dochází dříve, v tzv. pre-indikační poloze ($d_{\text{pre-indication}}$).

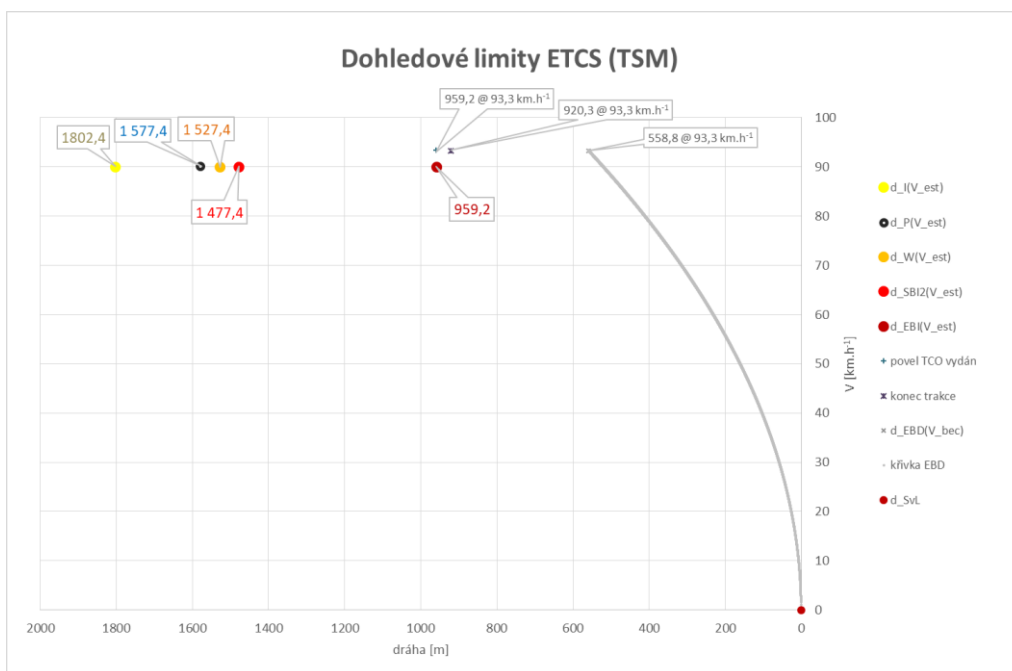
$$+ \int_{t_{braking} + T_{be}}^{t_{braking} + T_{be} + T_{bs2} + T_{driver} + T_{indication}} V_{est} dt$$

Ze vzorců (2) a (3) je vidět, že ETCS zanedbává skutečné brzdění vlaku – pro $A_{est} < 0 \text{ m.s}^{-2}$ je rychlost použitá v druhém integrálu (2) nezávislá na okamžitém zrychlení vlaku (A_{est}). Dále je vidět, že pokud vlak již zrychluje, je toto (A_{est}) zohledněno ve druhém integrálu (3), což má zajistit, že ekvivalentní doba náběhu nouzové brzdy (T_{be}) není vlivem zrychlování vlaku nikterak zkrácena. Z toho plyne, že ETCS zná okamžité zrychlení vlaku, používá jej při výpočtu dohledových limitů, ovšem pouze bezpečnějším smyslem, tedy jen v případě, že vlak skutečně zrychluje ($A_{est} > 0 \text{ m.s}^{-2}$). Snahou autorů tohoto článku (pozn. i článku [2]) je, aby ETCS používalo toto zrychlení (A_{est}), resp. jeho bezpečnou část ($A_{trusted}$) také při brzdění vlaku, a to pro výpočet všech dohledových limitů (viz kap. 3, resp. vzorec (4)), popřípadě též pro korekci ekvivalentních dob náběhů brzd – rychločinného brzdění (T_{be}) i brzdění provozního (T_{bs} , tedy jak doby T_{bs1} , tak doby T_{bs2} , dále jen T_{bs2} – viz popis zjednodušení výše).

2.3 Vliv zpětné vazby od provozní brzdy

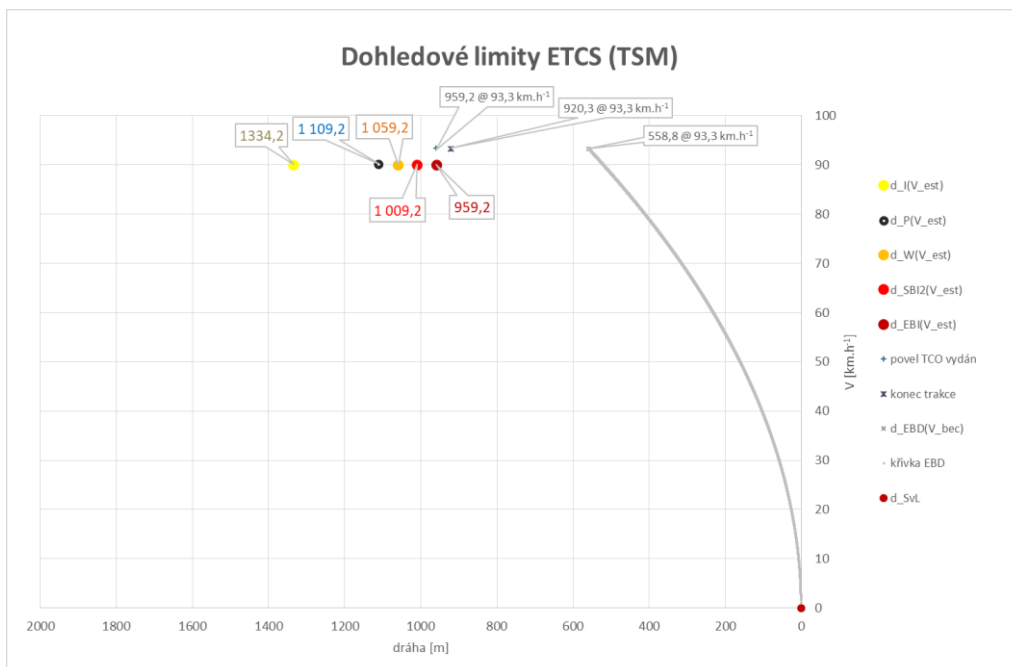
ETCS nabízí možnost zohlednění tlaku v průběžném potrubí brzdy UIC, či tlaku v jejím brzdovém válci, pokud je tato informace dostupná na rozhraní od vlaku (vozidla). Tato zpětná vazba má vliv na brzděné křivky, resp. na polohy dohledových limitů pro zavedení úplného provozního brzdění (SBI1, resp. SBI2), což může být „zpožděno“ právě na základě informace o okamžitém stavu brzdy, resp. výše zmíněného tlaku. Je zřejmé, že tento vliv se projeví, pouze pokud traťová část ETCS dovolí (příslušnou národní proměnnou) mobilní části ETCS zavádět úplné provozní brzdění při dohledu cíle (TSM) a současně pokud je toto umožněno (podporováno) integrací mobilní části ETCS do vozidla. Pojďme se podívat na dva mezní stavy – zcela odbrzděno (viz kap. 2.3.1), úplně provozně zabrzděno (viz kap. 2.3.2).

2.3.1 Jízda bez zpětné vazby od provozní brzdy, či s touto vazbou v odbrzděném stavu



Obr. 6 Ukázka poloh dohledových limitů ETCS pro vlak s tlakem v hlavním potrubí $p_{HP} = 5$ bar \leftrightarrow nominální, zcela odbrzděno

2.3.2 Jízda se zpětnou vazbou od provozní brzdy v zabrzděném stavu



Obr. 7 Ukázka poloh dohledových limitů ETCS pro vlak s tlakem v hlavním potrubí $p_{HP} = 3,5$ bar \leftrightarrow úplně provozně zabrzděno

2.3.3 Shrnutí k vlivu zpětné vazby od provozní brzdy

Z obrázků v předchozích kapitolách (viz obr. 6 a 7) je vidět, že zpětná vazba k brzdě, je-li tato na vozidle implementována, snižuje ekvivalentní dobu náběhu provozní brzdy (T_{bs}), ovšem nemá vliv na ekvivalentní dobu náběhu nouzové brzdy (T_{be}). Má tedy vliv na polohu dohledových limitů SBI1, resp. SBI2, nikoli na dohledový limit EBI, a tedy k nežádoucímu zásahu ETCS cca 650 m před cílem (popsanému výše) by i s touto vazbou došlo (viz též obr. 5, kde je použití provozní brzdy při dohledu cíle v ETCS zakázáno a zpětná vazba nemá vliv žádný). Nadto i tak se takto redukována doba ($T_{bs2} = 2$ s), která definuje rozdíl vzdáleností mezi EBI a SBI2 (viz kupř. obr. 6), se – stejně jako i všechny ostatní doby pro výpočet dohledových limitů ETCS – převádí na dráhu s předpokladem pohybu vlaku konstantní rychlostí (V_{est}), což nereflektuje skutečnost, tlak v hlavním potrubí je 3,5 baru.

2.4 Shrnutí k současnému stavu

Na základě výše uvedeného je tedy možno konstatovat – plně v souladu se závěrem uvedeným v [2] –, že reflektování skutečného zabrzdění vlaku v ETCS není z hlediska provozního dostatečné.

3 Možné chování ETCS při dohledu cíle, resp. zohledňování aktuální úrovně zabrzdění při výpočtu dohledových limitů

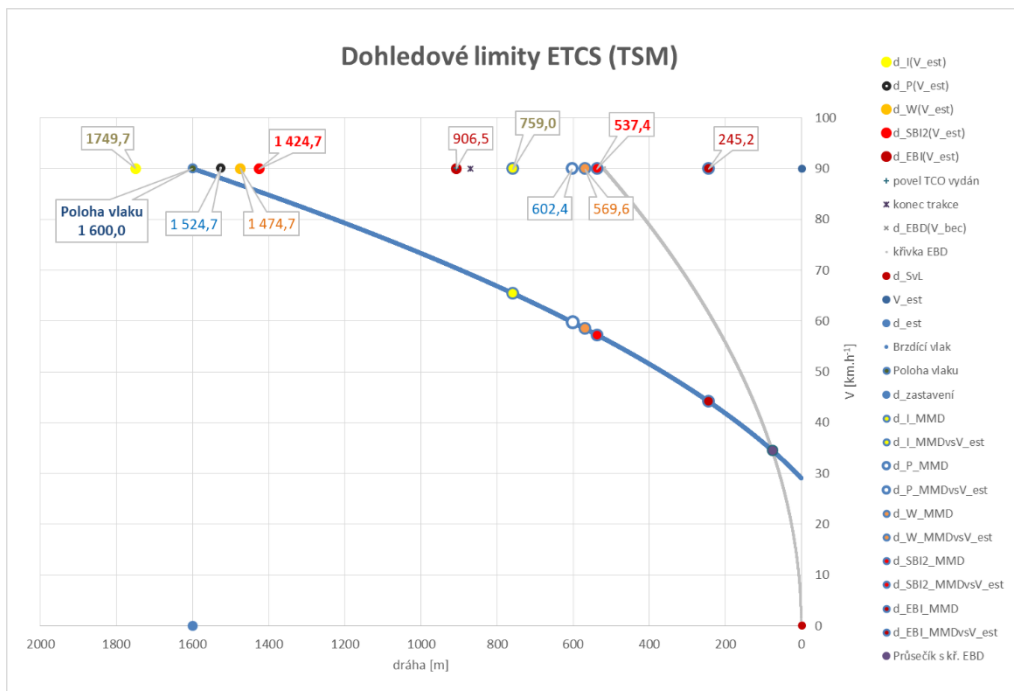
3.1 Popis navrhovaného řešení ([2])

Pojďme se podívat, jak by se chování ETCS při dohledu cíle změnilo i jen s použitím 3. stupně zjednodušení dle kap. 1.2, tedy při uvažování jízdy rovnoměrně zpomaleným pohybem během ekvivalentní doby náběhu t_e , tak jak je to popsáno ve článku [2]. Pokud tento přístup dále rozšíříme o všechny doby, které je třeba poskytnout pro adekvátní snížení rychlosti vlaku ($t_{braking}$, T_{be} , T_{bs2}), a to včetně interakcí se strojvedoucím (T_{driver} , $T_{indication}$), získáme následující chování, resp. vzorec pro výpočet poloh dohledových limitů ETCS:

$$d_{CSM/TSM} = \int_0^{t_{braking}} v(A_{safe}) dt + \int_{t_{braking} + T_{be} + T_{bs2} + T_{driver} + T_{indication}}^{t_{braking}} v(A_{est}) dt \quad (4)$$

Pozorný čtenář si jistě již povšiml, že tímto (4) jsme dohledové limity ETCS položili na parabolou brzdícího vlaku, což si můžeme dovolit, když už vlak při výpočtu brzdících křivek, resp. dohledových limitů skutečně brzdí/zpomaluje ($A_{est} < 0$ m.s⁻²). Samozřejmě za předpokladu, že mobilní část ETCS počítá polohy dohledových limitů v každém výpočetním cyklu, resp. alespoň vždy když dojde ke změně vstupních hodnot, přičemž jedna z nich je právě hodnota okamžitého zrychlení vlaku (A_{est}). Zde

posané je též patrné z obr. 8, který ukazuje rozdíl ve výpočtech stávajících (viz [1]) a výpočtech nově autory navrhovaných (viz [2]). Další zacházení s dohledovými limity při dohledu cíle by mohlo v principu zůstat stejné jako dnes. To znamená, že pokud by například došlo k odbrzdění, projevilo by se to ve zvýšení hodnoty A_{est} , což by způsobilo přepočtení poloh dohledových limitů a pakliže by se poloha čela vlaku dostala nově za nějaký dohledový limit, ETCS by iniciovalo adekvátní reakci (indikaci, anebo přímo brzdění).



Obr. 8 Ukázka vlivu použití přístupu dle vzorců (4) vs. (2), resp. (3) na polohy dohledových limitů ETCS [použití provozního brzdění v TSM je povoleno, nejistota měření ujeté dráhy ani rychlosti není uvažována]

Při výpočtu poloh dohledových limitů ETCS vychází z brzdných křivek, tedy z představy toho, jak se vlak bude chovat poté, co brzda plně naběhne. Na obr. 8 jde o situaci nouzového (rychločinného) brzdění, což popisuje křivka EBD (*Emergency Brake Deceleration*). Ta představuje z hlediska pohybu vlaku mez, za kterou se vlak (resp. jeho čelo) nesmí dostat, jinak by projel dohlížené místo (cíl). Je tedy třeba najít průsečík předpokládané trajektorie vlaku (už zde se oba přístupy liší: [1] vs. [2]) s touto křivkou a zareagovat dostatečně dříve. Protože křivka EBD představuje brzdění s již plně naběhlou brzdou, reaguje ETCS o definované časy (vyjmenované na začátku této kapitoly) v předstihu a tyto přepočítává přes (odhadovanou) rychlost vlaku (V_{est}) na dráhu, čímž si stanovuje dohledové limity, jejichž minuty pak spouští definované akce (indikace strojvedoucímu, či přímo intervence do jízdy).

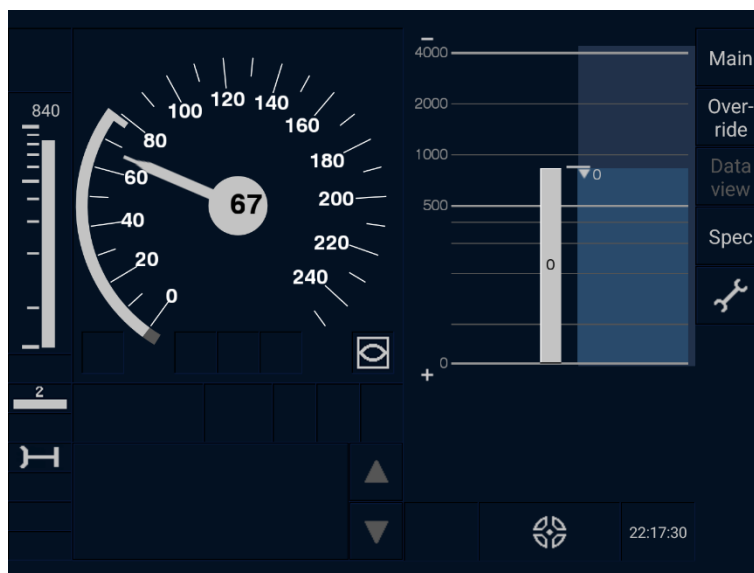
3.2 Praktické dopady zohlednění výše uvedeného při dohledu cíle v ETCS

Návrh autorů publikovaný prvně v článku [2] spočívá v zahájení výpočtu dohledových limitů v místě průsečíku paraboly brzdícího vlaku ($v = f(A_{est})$) a křivky EBD ($v = f(A_{safe})$) a dále v postupování od této reference po křivce brzdícího vlaku, a tedy v položení dohledových limitů ETCS na parabolu již brzdícího vlaku a v převádění tímto způsobem časů definovaných (vyjmenovaných v úvodu předchozí podkapitoly

(viz kap. 3.1)) na dráhu potřebnou pro snížení rychlosti (viz vzorec (4)). A jak ukazuje obr. 8, lze tímto způsobem získat pro již brzdící vlak například 991 m pro pozdější indikace strojvedoucímu, či 887 m pro strojvedoucího, popř. pro systém ATO (z angl. *Automatic Train Operation*), tedy např. pro český systém AVV (Automatické vedení vlaku) z produkce AŽD Praha pro pozdější intervenci ETCS do jízdy vlaku, ovšem i tak lze stále poskytnout dostatek potřebného času.

Zajímavé je také si povšimnout, že pokud při tomto novém přístupu [2] není nalezen průsečík paraboly brzdícího vlaku, nelze stanovit referenci pro výpočet dohledových limitů ETCS, a tedy nelze vypočítat polohy dohledových limitů. Toto chování je považováno za správné, neboť v této situaci (neexistence průsečíku trajektorie pohybu vlaku s křivkou EBD nenaznačuje, že by se vlak skutečně mohl dostat za tuto křivku mezni, a tedy má se za to, že vlak zastaví [dostatečně zpomalí] ještě před místem dohlíženého cíle). V případě současného přístupu [1] stále tento průsečík existuje, a tedy i dohledové limity ETCS a související restriktce stále existují – porovnej kroky e) až k) v tabulce 1 přílohy č. 1.

S novým přístupem [2] by však strojvedoucí i v této situaci měl mít stále informace o blížícím se cíli zobrazeny. Proto autoři tohoto příspěvku navrhuji zavedení (resp. znovuoobnovení) tzv. normálního stavu (Normal Status), a to i v režimu dohledu cíle (TSM). Při něm by se zobrazovaly informace o cíli nejen v plánovací oblasti (tj. v pravé části na displeji DMI, viz obr. 9), tak jak je to již dnes, ale navíc by se tyto zobrazily také v oblasti rychloměru (tj. v levé části displeje DMI, viz tentýž obrázek). Zobrazovala by se tedy jednak vzdálenost do cíle prostřednictvím ukazatele cílové vzdálenosti (jak analogicky, tak digitálně – na obr. 9 – 840 m), jednak cílová rychlost prostřednictvím kruhového ukazatele rychlosti CSG (z angl. *Circular Speed Gauge*) – viz rozhraní světle/tmavě šedé barvy na obr. 9 ($V_{\text{target}} = 0 \text{ km.h}^{-1}$). Toto zobrazení dnešní ETCS nepotřebuje, a tedy ani neposkytuje.



Obr. 9 – Nově navrhované indikace na displeji DMI ETCS (tmavě vs. světle šedá), vyvolané novým způsobem výpočtu dohledových limitů ETCS ($A_{\text{est}} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$)

Dále se zdá být žádoucí, aby se při přibližování k cíli snižovala adekvátně i dovolená rychlost vlaku (viz zalomení na kruhovém ukazateli rychlosti (CSG)), a to i v situaci,

kdy neexistuje průsečík paraboly brzdícího vlaku s křivkou EBD, popř. SBD, a tedy v situaci, kdy při novém přístupu výpočtů dohledových limitů ETCS tyto neexistují, neexistuje tedy ani dohledový limit dovolené rychlosti (P). Pro tento účel navrhujeme využít již dnes existující tzv. naváděcí křivku GUI (z angl. *Guidance*), která zajistí kýžené snižování dovolené rychlosti. Je však na zvážení, zda ji použít v novém návrhu tak, jak je to dnes, tedy nejen ke stanovování dovolené rychlosti, ale také k adekvátnímu přizpůsobení polohy dohledového limitu dovolené rychlosti (P), či ji využívat jen v případě, kdy není možno stanovit dohledové limity, protože neexistuje průsečík paraboly brzdícího vlaku s křivkou EBD/SBD. Každopádně v případě jejího nevyužití by dovolená rychlost (ve výše zmíněném případě) zůstala stále na hodnotě konstantní dovolené rychlosti, což se nejeví jako provozně, resp. ergonomicky vhodné.

Pojďme se podívat na simulaci přibližování konkrétního vlaku k cíli (SvL), a to za povolení použití naváděcí křivky GUI v režimu TSM (při novém návrhu jen neexistenci dohledových limitů ETCS). Tato simulace je zachycena v tabulce 1 přílohy č. 1. Zde se nejprve vlak přibližuje k cíli konstantní rychlostí (krok a). Jakmile dostane první indikaci (krok b), začne strojvedoucí ihned brzdit. Po uplynutí doby prodlevy (krok c) začne brzda nabíhat /pozn. zde je náběh zjednodušen, během náběhu brzdy by vlak reálně ujel určitou dráhu, která je pro tuto ilustraci zanedbána/. Následující tři kroky (kroky c, d, e) ukazují, jak dochází vlivem zvyšující se hodnoty odrychlení A_{est} k „odsouvání“ dohledových limitů ETCS, tedy vč. indikačního dohledového limitu, což má strojvedoucí možnost sledovat, jednak tím, že přejde z tzv. Indikačního stavu (žlutá) do stavu zde nově navrhovaného, tzv. normálního (šedá), jednak tím, že se v plánovací oblasti začne vzdalovat tzv. indikační značka (žlutá horizontální úsečka – kroky c, d).

Následně tabulka 1 v příloze č. 1 zachycuje zpomalování vlaku po parabole s konstantním odrychlením $A_{est} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$ (kroky e až k). Z těchto kroků je patrné, že stávající ETCS – právě v důsledku neuvažování skutečného odrychlení vlaku – reaguje při dohledu cíle (TSM) na přiblížení vlaku ke křivce EBD přechodem do více restriktivních /dohledových/ stavů: do stavu překračování povolené rychlosti (krok h) i do stavu varovného (krok i); zatímco ETCS s novým návrhem chování při dohledu cíle [2] je stále ve stavu normálním (viz kroky e až k). Proto autoři tohoto článku, resp. článku [2] snaží iniciovat na EU úrovni změnu generických specifikací ETCS, tedy zejména systémových specifikací ETCS [1] a specifikací na rozhraní ke strojvedoucímu DMI (z angl. *Driver-Machine Interface*) [3].

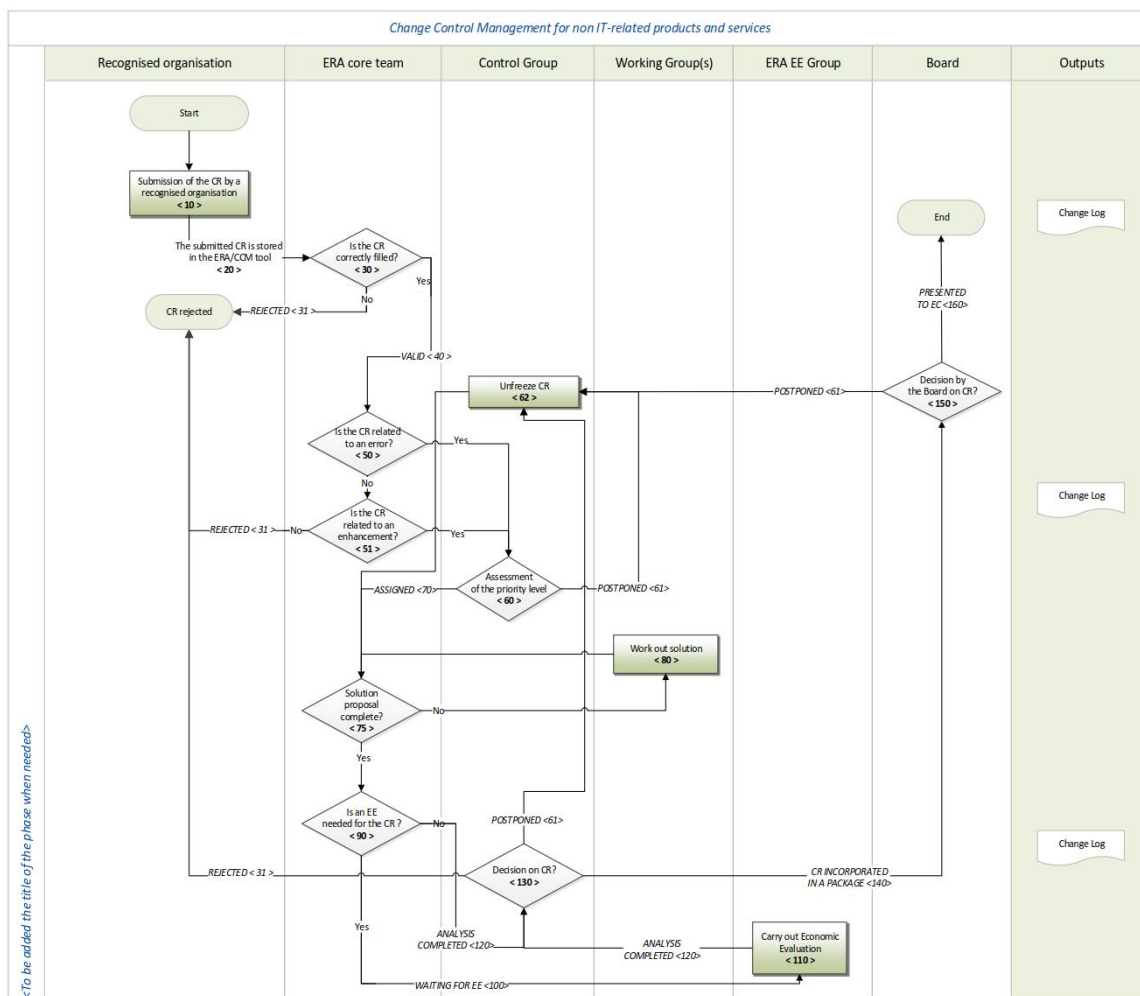
4 Postup pro změnu evropských specifikací ETCS

Vzhledem k tomu, že se autoři tohoto článku, resp. článku [2] snaží o prosazení změny EU specifikací ETCS, aby se tento vlakový zabezpečovač začal chovat při dohledu cíle pro již brzdící vlaky méně restriktivně, zato stále bezpečně, seznamuje tato kapitola stručně čtenáře s procesem s tím souvisejícím.

4.1 Obecný postup změn specifikací ETCS

Proces jakékoli změny specifikací ETCS je zahájen založením oficiálního požadavku na jejich změnu, tzv. *Change Request* (dále jen CR), (viz krok <20> na obr. 10) a končí prezentací tohoto požadavku, a to včetně pro něj odsouhlaseného řešení,

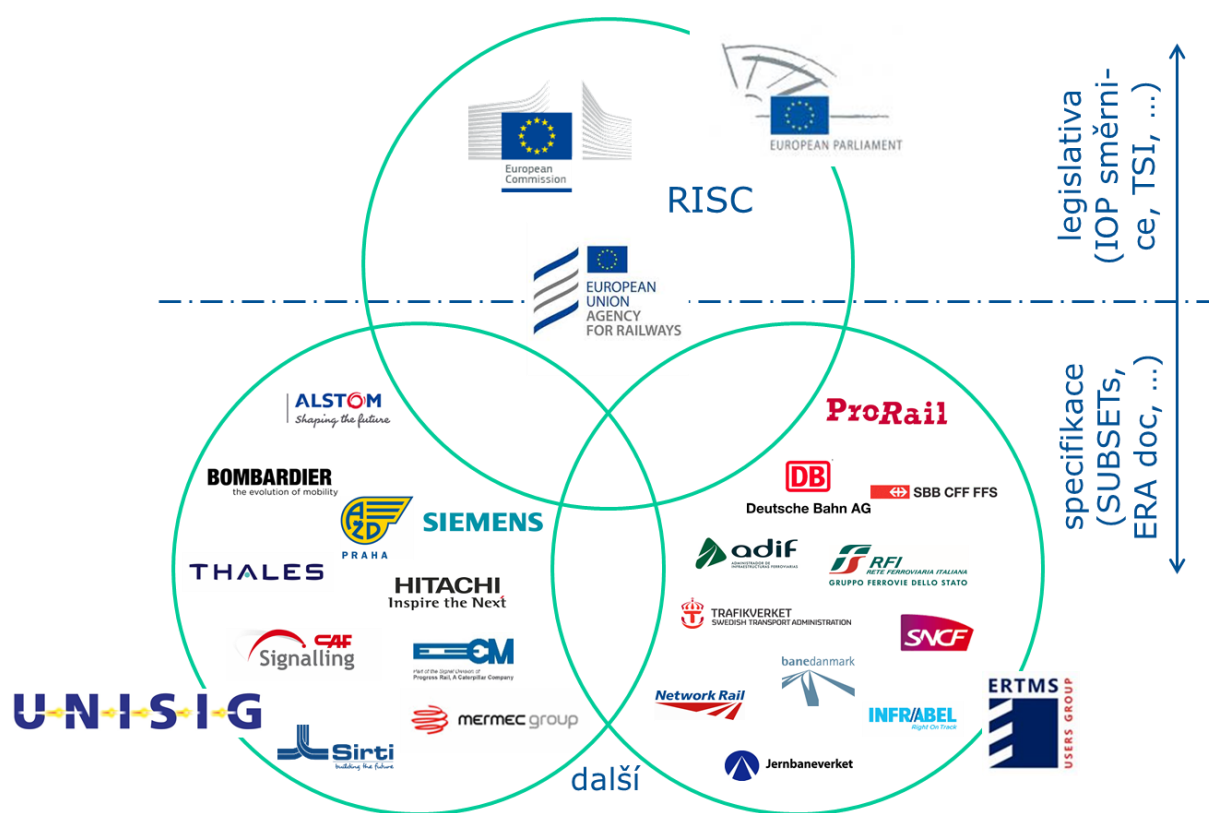
Evropské komisi (*European Commission, EC*) (viz činnost <160> na obr. 10), což činí EU agentura pro železnice (*European Union Agency for Railways, ERA*) v rámci jejího doporučení na aktualizaci TSI CCS, které předává poradnímu orgánu EC složeného ze zástupců členských států, kterým je výbor RISC (*Railway Interoperability and Safety Committee*), k odsouhlasení a následné publikaci Evropskou komisí (EC) v úředním věstníku EU, čímž se odsouhlasené řešení stává součástí TSI CCS, resp. mandatorních dokumentů jejich přílohy A, tedy závazným pro členské státy EU.



Obr. 10 – Proces změny specifikací ETCS; Zdroj: [12]

Mezi těmito kroky je každý takový CR hodnocen z hlediska jeho typu (oprava chyby / vylepšení specifikací ETCS), jeho kritičnosti/výhodnosti, pracnosti, vlivu na TSI CCS a předběžně je u něj hodnocena jeho zpětná kompatibilita, někdy též ekonomická výhodnost. Dále je každý CR analyzován, je pro něj (společně, většinou v několika iteracích – viz diagram na obr. 10) navrženo technické řešení a po jeho odsouhlasení je zkoumána jeho zpětná kompatibilita BCA (z angl. *Baseline Compatibility Analysis*), která se hodnotí v rámci jednotlivých legálních vydání specifikací ETCS, tedy v rámci tzv. Baselines (tj. dnes B2, B3MR1, B3R2), a hledají se nápravná opatření tam, kde by zapracováním navrženého řešení pro daný CR mohla vzniknout případná zpětná nekompatibilita, popř. se opět upravuje jeho technické řešení tak, aby k těmto zpětným nekompatibilitám nedocházelo.

Na činnostech uvedených výše se podílí především organizace uvedené na obr. 11, tedy na vlastních činnostech týkajících se CR se podílí již výše zmíněná ERA, která tyto činnosti zastřešuje a tvoří současně v této oblasti systémovou autoritu, tedy např. rozhoduje v případě absence konsensu účastníků. Dále se těchto činností účastní na straně jedné uživatelé systému ERTMS sdružené v ekonomické skupině EUG (*EEIG ERTMS Users Group*), tedy 11 významných správců infrastruktury ze Španělska, Dánska, Německa, Belgie, Norska, Spojeného království, Holandska, Francie, Itálie, Švýcarska a Švédska (viz obr. 11); na straně druhé pak výrobci tohoto systému sdružené v konsorciu UNISIG (*Union Industry of Signalling*), tedy 10 dodavatelů ETCS (viz obr. 11), mezi nimiž je i česká společnost AŽD Praha. Jako pozorovatel se účastní též vždy jeden zástupce Společenství evropských železničních a infrastrukturních podniků CER (*Community of European Railway and Infrastructure Companies*).



Obrázek 11: Instituce podílející se na procesu změn specifikací ETCS

V případě potřeby se pro konkrétní témata přidávají další organizace, jako například UIC (*Union Internationale des Chemins de fer*), či ROC IG (*Railway Operational Communications Industry Group*), dříve GSM-R IG (*Global System for Mobile Communication for Railway Industry Group*). Občasně prezentují svůj názor i mezinárodní asociace, jako např. EIM (*European Rail Infrastructure Managers*) a další. Ač výčet výše není úplný, je z něj zřejmé, že počet subjektů podílejících se na tvorbě specifikací ETCS je velký a že najít shodu mezi tolika z nich není vždy snadné.

ERA každý měsíc organizuje pracovní jednání pracovní skupiny EECT (*ERA Extended Core Team*, na obr. 10 jen „*ERA core team*“), kam zve zástupce UNISIG a

EUG a kde se tvoří a udržují specifikace ETCS (tedy zejména se řeší jejich změny formou CR). Před každým takovým jednáním probíhá předjednání v pracovních skupinách jak UNISIG, tak i EUG a pracuje se na zadaných úkolech. Na jednáních EECT se už vystupuje s konsolidovanými názory/vstupy za UNISIG, rovněž tak i za EUG. Nadto dle jednacího řádu [13] se například v jednotlivých technických pracovních skupinách konsorcium UNISIG nesmí hlasovat – názor nebo úkoly musí být jednomyslně odsouhlaseny všemi členy, aby mohly být prezentovány jako názor nebo výstup UNISIG, v opačném případě musí rozhodnout řídicí úroveň konsorcium UNISIG, tzv. Steering Committee (UNISIG SC). Navíc najít shodu mezi všemi členy UNISIG, uvážíme-li že každý z členů hájí také zájmy své společnosti, kterou zde zastupuje, opět není vždy snadné.

Pokud nastane mezi dotčenými subjekty shoda na všech úrovních tvorby specifikací ETCS (viz spodní část obr. 11), pak přichází ke slovu poradní orgán RISC, který je složen ze zástupců členských států EU (ČR zde má své zástupce dva) a který výrazně ovlivňuje rozhodnutí o tom, zda má Evropská komise návrh o nových specifikacích ETCS od ERA přijmout a zveřejnit je v úředním věstníku EU (a učinit je tedy mandatorními pro členské státy EU), či nikoli. Cesta ke změně specifikací ETCS je tedy dlouhá, náročná, ale potenciálně schůdná.

4.2 Postup z hlediska úpravy funkčního chování ETCS při dohledu cíle

V době uzávěrky tohoto článku byl zástupci České republiky v RISC vznesen dotaz související se zde, resp. v článku [2], uvedeným návrhem vylepšení funkčního chování ETCS při dohledu cíle. Tento dotaz adresovaný Evropské komisi je dalším elementem, vedle publikování článku [2], pro rozpoutání oficiální diskuse na toto téma na EU úrovni. Současně byly s návrhem uvedeným v článku [2] seznámeni zástupci subjektů EUG a CER, na článek byli rovněž upozorněni zástupci ERA a UNISIG. Aktuálně se vyčkává na založení oficiálního požadavku na změnu specifikací ETCS, tzv. Change Request (CR), tedy na zahájení procesu stručně popsaného v předchozí kapitole (viz kap. 4.1).

Závěr

ETCS je vlakový zabezpečovač, který kromě přispívání k zajištění interoperability (tedy propojitelnosti Evropského železničního prostoru), výrazně přispívá k bezpečnosti drážního provozu také tím, že disponuje úplnou kontrolou rychlosti, tedy v základním stavu bezpečně dohlíží, zda okamžitá rychlost vlaku nepřekračuje o povolené limity rychlost konstantní dovolenou (CSM), ale také to, že před blížícím se cílem stále existuje dostatek času/dráhy pro snížení okamžité rychlosti vlaku na novou rychlost cílovou (TSM). ETCS si pro tento případ vytváří na základě vlastností vlaku (zejména brzdného modelu), trati (změny podélného sklonu, zákazy používání určitých druhů brzd apod.) i okamžitého stavu vlaku (okamžitá rychlost a zrychlení) predikci potřebných poloh (tzv. dohledových limitů) pro nejzazší zavedení brzdění, pro různé indikace pro strojvedoucího apod.

Ukazuje se však, že ETCS je při této predikci někdy až příliš restriktivní – viz zkušenosti z provozu např. zde [7], či z pilotního projektu ETCS v ČR, kdy se poprvé testovalo ATO (resp. české AVV z produkce AŽD Praha) nad ETCS. Detailní

analýzou brzdnych křivek, resp. výpočtů dohledových limitů ETCS [2] vyšlo najevo, že ETCS uvažuje pouze dva základní scénáře přibližování se vlaku k cíli, a to:

- jednak scénář, kdy vlak nebrzdí vůbec, a tedy se přibližuje k cíli (např. ke konci oprávnění k jízdě) konstantní rychlostí;
- jednak scénář, kdy vlak navíc ještě směrem k cíli zrychluje.

Toto jsou případy, které je třeba bezesporu dohledem ETCS bezpečně pokrýt.

Avšak ukazuje se, že ETCS by mělo lépe reflektovat i případy, resp. scénáře, které jsou v provozu pravděpodobnější. Jde o situace, kdy strojvedoucí, či automatizační systém (kupř. CRV&AVV) již brzdí k cíli. A v případě, že ETCS nazná, že vlak s daným odrychlením zastaví (sníží dostatečně svou rychlost) ještě před cílem, mělo by toto uvážit a nechat strojvedoucího (či AVV) nerušeně tohoto cíle dosáhnout. Toto splňuje návrh autorů uvedený v článku [2], který je zde v tomto příspěvku více dopracován a rozšířen, zejména z hlediska zobrazování indikací na displeji DMI ETCS (viz příklad při tomto provozním scénáři zachycený v tab. 1 přílohy č. 1, kde je též porovnání s indikacemi, které by dostal strojvedoucí dle dnešního přístupu ETCS). Pro výše uvedené stačí u již brzdících vlaků začít zohledňovat při výpočtech dohledových limitů ETCS vedle okamžité rychlosti též okamžité zrychlení, resp. jeho důvěryhodnou část.

Dle názoru autorů tohoto příspěvku, resp. článku [2] by toto velmi významně pomohlo při dojezdech k cílům obecně. Rovněž tedy i při dojezdu k místu, kde končí oprávnění k jízdě, a tedy by toto řešení, možná i zcela, eliminovalo v tomto případě jak nutnost používání tzv. uvolňovacích rychlostí, tak i nutnost vytváření s tím souvisejících opatření pro eliminaci rizik plynoucích právě z jejich používání (ať již jde o výše zmíněné stavební úpravy na trati [9], či umělé držení výluk za koncem vlakové cesty [10] pro vlak s ETCS, který bude pro dojezd ke konci oprávnění k jízdě využívat právě /nenulovou/ uvolňovací rychlost).

Výše uvedené rozbory lze shrnout konstatováním, že zjednodušení – ač primárně provedená bezpečným (pesimističtější) směrem – spočívající v uvažování pevné ekvivalentní doby náběhu brzd a pohybu vlaku konstantní rychlostí, i když už vlak skutečně brzdí, která jsou navíc použita plošně i mimo oblast jejich fyzikální oprávněnosti, způsobují, že se vlak jedoucí pod dohledem ETCS nemůže přiblížit k brzdě křivce tak, jak by bylo pro plynulý a efektivní provoz potřebné, ale musí buď nepřiměřeně zpomalit o mnoho metrů dříve, anebo musí být přijímána nákladná stavební či jinak omezující opatření na straně infrastruktury.

S určitou nadsázkou lze proto říci, že dnes stojíme před rozhodnutím, zda metry promrhané ne zcela korektním zjednodušením budeme získávat zpět klávesnicí, nebo bagrem...

(Autoři tohoto příspěvku se rozhodli pro první variantu a hledají pro ni podporu v rámci odborné veřejnosti, proto o tomto problému, vč. možných řešeních publikují.)

Literatura:

- [1] ERA – UNISIG – EEIG ERTMS USERS GROUP. ERTMS/ETCS – System Requirements Specification. SUBSET-026, Issue 3.6.0 (Baseline 3 Release 2). Brussels: European Commission (EC), 2016. 701 p.
- [2] MAREK, Jakub – MYLSIVEC, Ivo – DRÁPAL, Bohumil. Modell der ETCS-Bremskurven: Verbesserungsvorschlag für bereits bremsende Züge | The ETCS braking curves model: Proposal for improvements for already braking trains. In *SIGNAL+DRAHT (112) 3/2020 [with corrections of printing errors (Fig. 2, formula (2), and units of speed and acceleration) likely in (115) 6/2020]*. Hamburg: DVV Media Group GmbH, 2020. p. 36–46. ISSN 0037-4997.
- [3] ERA. ERTMS/ETCS – ETCS Driver Machine Interface. ERA_ERTMS_015560, Issue 3.6.0 (Baseline 3 Release 2). Brussels: European Commission (EC), 2016. 263 p.
- [4] MAREK, Jakub. Brzdový model ERTMS/ETCS a možnosti jeho optimalizace na úrovni aplikace. In *Vědeckotechnický sborník ČD č. 47/2019*. Praha: Generální ředitelství ČD, 2019. 22 s. ISSN 1214-9047. Dostupný z WWW: <<http://vts.cd.cz>>.
- [5] MYSLIVEC, Ivo. *Malé zamyšlení nad brzdovými a zásahovými křivkami ETCS*. In Příspěvek během pracovního setkání pracovníků AŽD a SŽDC. Velké Losiny, 9. 1. 2019. Praha: AŽD Praha s.r.o., 2019. 27 s.
- [6] RAIBR, Martin. Pohled projektanta na proces zavádění ETCS na železniční infrastrukturu ČR. In *9. konference Zabezpečovací a telekomunikační systémy na železnici*. České Budějovice, 16. 10. 2019. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace (dnes Správa železnic, státní organizace), 2019. s. 22–28. ISBN 978-80-907189-1-3. Dostupný z WWW: <<http://www.ztscb.cz>>.
- [7] TRÖGEL, Martin. *Problematika dojezdu vlaku ke konci oprávnění k jízdě v ETCS z pohledu SŽDC*. Příspěvek na odborném semináři „K aktuálním problémům zabezpečovací techniky XIII“. Plzeň, 23. 5. 2018. Plzeň: ZČU v Plzni, 2018. 22 s. Dostupný z WWW: <https://fel.zcu.cz/cz/about/conferences/2018/seminar_DE/index.html>.
- [8] MAREK Jakub. Brzdné křivky ETCS a možnosti jejich úprav. In *9. konference Zabezpečovací a telekomunikační systémy na železnici*. České Budějovice, 16. 10. 2019. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace (dnes Správa železnic, státní organizace), 2019. s. 33–37. ISBN 978-80-907189-1-3. Dostupný z WWW: <<http://www.ztscb.cz>>.
- [9] Správa železnic. *Zásady pro návrh technického řešení ETCS ve vazbě na kolejová řešení dopraven*. Praha: Generální ředitelství SŽDC (dnes SŽ), 2018. 6 s.
- [10] MACHÁČEK, Lubomír – PSÍK, Patrik. *VCP – vlaková cesta s prodlouženou ochranou dráhou*. In Příspěvek během pracovního setkání pracovníků AŽD a SŽDC. Velké Losiny, 15. 1. 2020. Praha: AŽD Praha s.r.o., 2020. 9 s.
- [11] POHL, Jiří. *Brzdění nákladních vlaků samočinnou pneumatickou brzdou*. Setkání na Generálním ředitelství SŽDC (dnes SŽ), 11/2018. 49 s.
- [12] European Union Agency for Railways (ERA). Change Control Management Procedure. Valenciennes: ERA, 2017. Issue PRO_CCM_002 V 2.1. 21 p. Accessible from <http://www.era.europa.eu/activities/european-rail-traffic-management-system-ertms_en>.

[13] UNIFE. *UNISIG Rules of Procedures*. Brussels: UNIFE, 2008. 18 s.

Lektorovali:

Ing. Tomáš Konopáč, Správa železnic

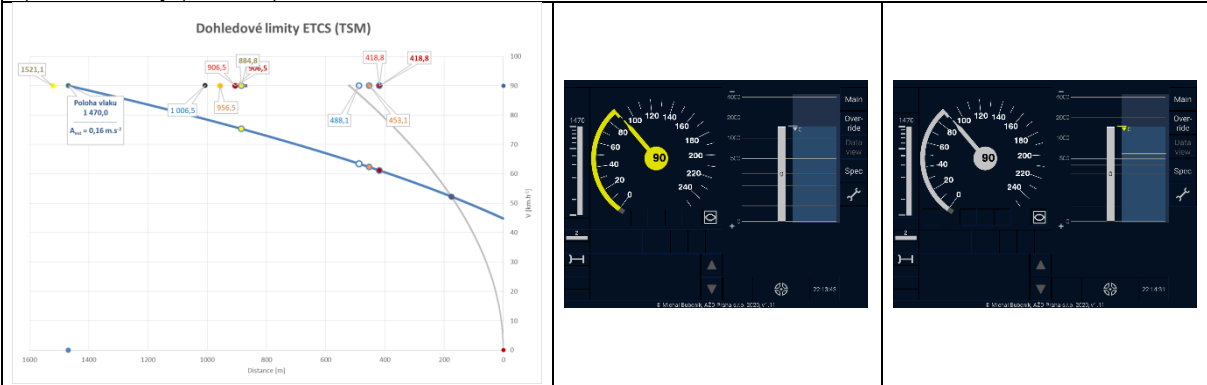
Aleš Pokorný, Drážní úřad

Příloha č. 1: Ukázka přibližování vlaku pod dohledem ETCS k místu, kde končí oprávnění k jízdě – SvL (z angl. *Supervised Location*).

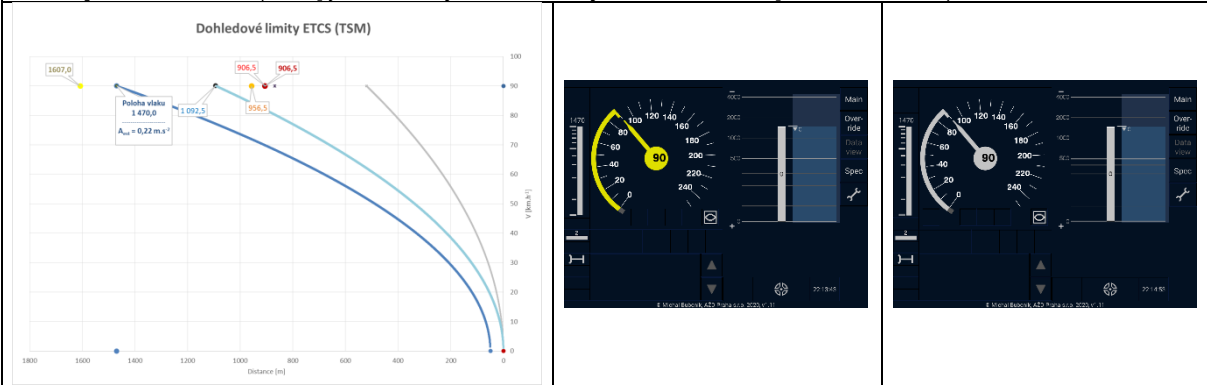
Tab. 1 – Dohledové limity ETCS a zobrazení na displeji DMI pro strojvedoucího (zdroj zobrazení na DMI: Bubeník):

Polohy dohledových limitů ETCS dle [1] vs. [2]	Odpovídající zobrazení na displeji DMI – výpočty dle	
	SUBSET-026 [1]	Marek, Myslivec, Drápal [2]
a) přibližování se k cíli (3 500 m), $V_{est} = 90 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0 \text{ m.s}^{-2}$		
b) první indikace (1 520 m), $V_{est} = 90 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0 \text{ m.s}^{-2}$ /strojvedoucí je vyzván k zahájení brzdění (žlutou barvou); na tuto skutečnost je upozorněn zazněním zvuku S_info – zde se oba přístupy ([1] i [2]) shodují/		
c) zahájení brzdění (1 470 m), $V_{est} = 90 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,05 \text{ m.s}^{-2}$ /dle současných specifikací [1] dostává strojvedoucí stále indikaci (žlutou barvou), zatímco dle nového návrhu [2] přechází do normálního stavu a v plánovací oblasti může sledovat, jak se se zvyšujícím stupněm zabrzdění indikační značka odsouvá dále od čela vlaku, až zcela zmizí (viz krok e), což jen ukazuje, že vlak zastaví (zpomalí) před dohlíženým cílem (neexistuje průsečík paraboly brzdícího vlaku s křivkou EBD, neexistují tedy ani dohledové limity ETCS)/		

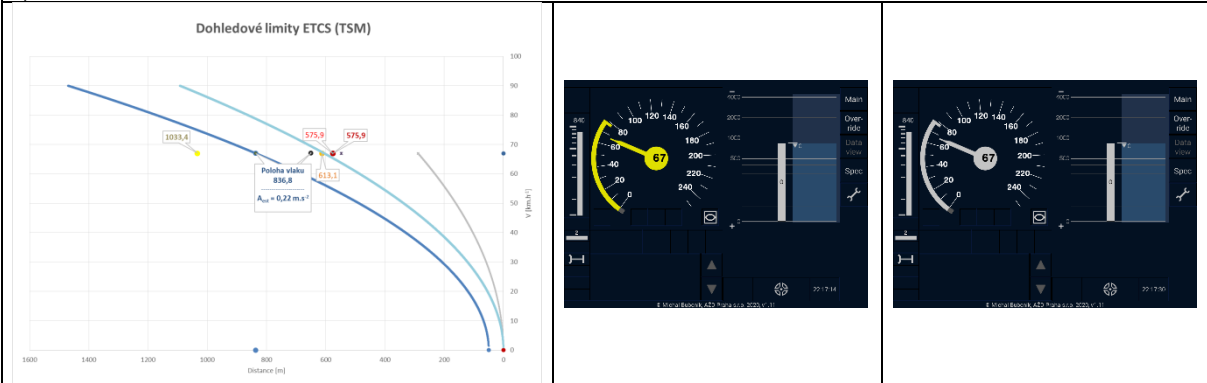
d) náběh brzdy (1 470 m), $V_{est} = 90 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,16 \text{ m.s}^{-2}$



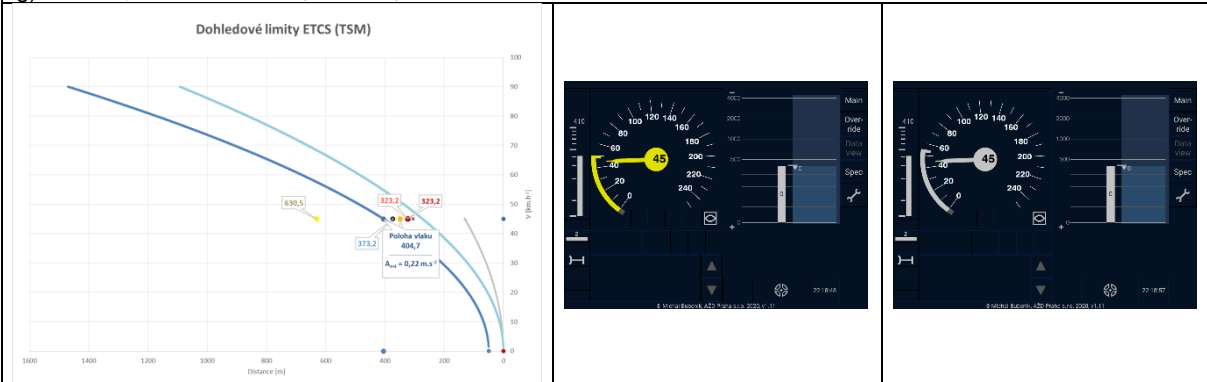
e) náběh brzdy (1 470 m), $V_{est} = 90 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$ (pozn. aktivována naváděcí křivka GUI [světle modrá] s $A_{GUI} = 0,3 \cdot A_{expected}$ [tj. 30 % odrychlení definujícího křivku SBD] ~ cca $0,3 \text{ m.s}^{-2}$)



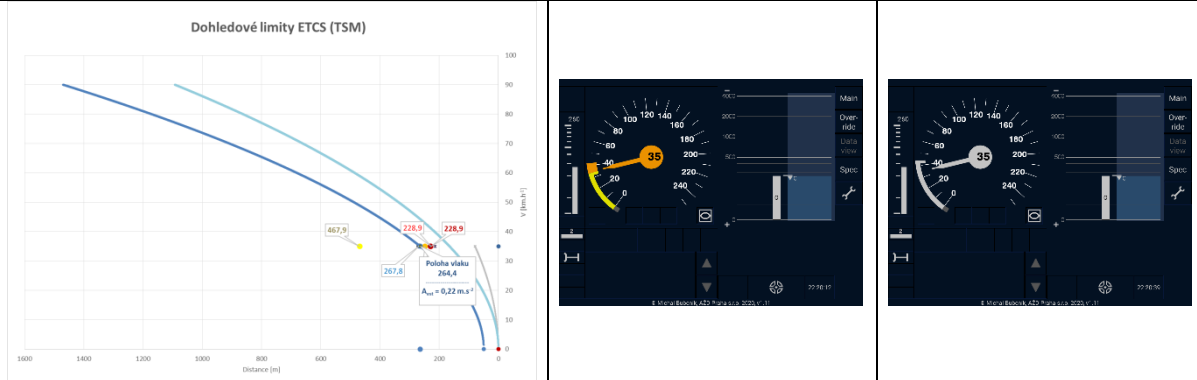
f) brzdění, $V_{est} = 67 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$



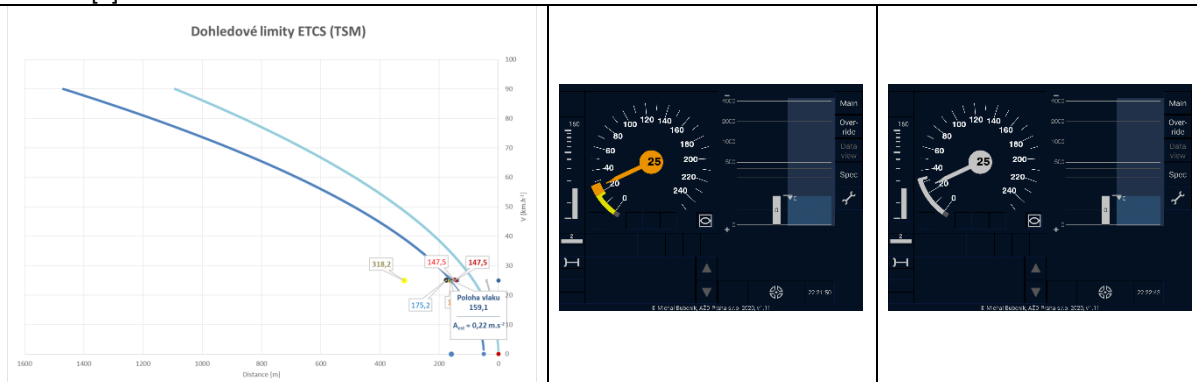
g) brzdění, $V_{est} = 45 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$



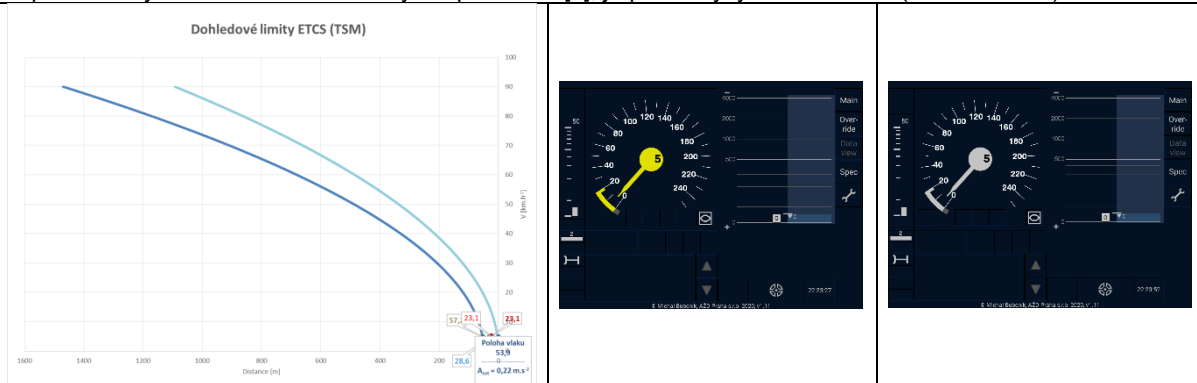
h) brzdění, $V_{est} = 35 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$ /dle současných specifikací [1] je strojvedoucí varován (oranžovou barvou), že překračuje dovolenou rychlost; dle nového návrhu [2] varován není/



i) brzdění, $V_{est} = 25 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$ /dle současných specifikací [1] je strojvedoucí varován (oranžovou barvou, nyní již i akusticky [trvalým zněním zvuku S2_warning]), že se blíží k rychlosti zásahové; dle nového návrhu [2] takové varování nenastává/



j) brzdění, $V_{est} = 5 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$ /rychlost vlaku se opět dostává pod „křivku“ dovolené rychlosti a přestává být varován i dle současných specifikací [1], je pouze vyzván k brzdění (žlutou barvou)/



k) vlak zastavuje 50 m před dohláženým cílem (SvL)