



26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA  
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOLĎAJOVÝCH  
VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“  
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko

<https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.1.03>

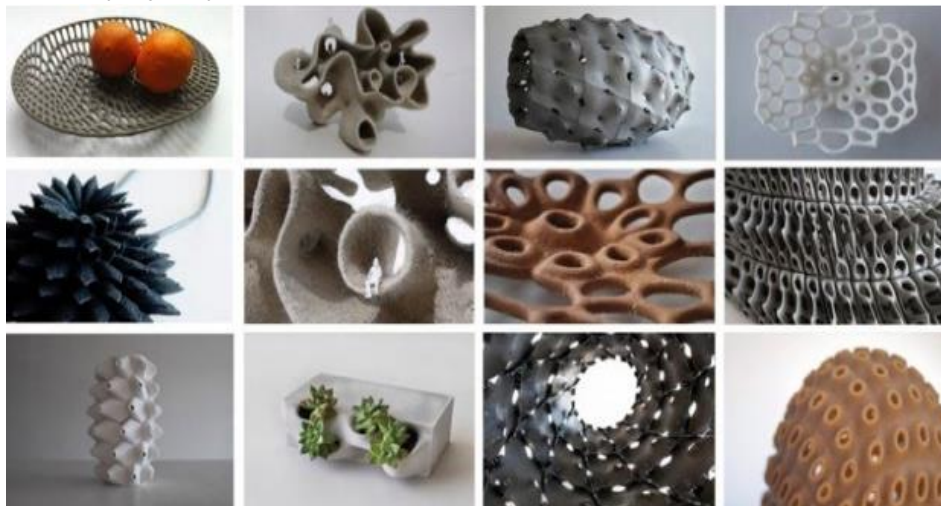
**APLIKACE 3D TISKU VE STAVBĚ KOLEJOVÝCH VOZIDEL**  
**APPLICATION OF 3D PRINT IN THE CONSTRUCTION OF RAIL**  
**VEHICLES**

Jaroslav BRODSKÝ<sup>\*)</sup>

**1 ÚVOD**

Výroba kolejových vozidel se řadí mezi odvětví s vyšší technologickou náročností. Evropská Unie klade velký důraz jak na maximální bezpečnost a provozní efektivnost v rámci železničního systému, tak i samotných kolejových vozidel v dané životnosti vozidla, která je 40 let. Ke splnění těchto požadavků je třeba při vývoji jednotlivých typů kolejových vozidel (lokomotiv, jednotek, tramvají, metra, vozů a dalších) navrhovat komponenty tak, aby jejich výroba nebyla časově ani finančně náročná a současně vedla ke snížení dopadu na životní prostředí.

Při provozu kolejových vozidel a následném servisu je nutné provádět výměnu komponent podle údržbových intervalů, nebo po neočekávaných situacích. Vzhledem k délce výroby komponent pomocí standardních technologií se může značně prodloužit odstávka vozidla z důvodu čekání na dodávku nových komponent, pokud nejsou komponenty zajištěny skladem.



**Obr. 1** Příklad 3D tisku u uměleckých předmětů

**Fig. 1** Example of 3D printing for art objects

<sup>\*)</sup> **Ing. Jaroslav BRODSKÝ**, ŠKODA TRANSPORTATION a.s., Borská 2963, 301 00 Plzeň.  
Tel.: +420 378 186 428, e-mail: jaroslav.brodsky@skodagroup.com, vedoucí Mechanických systémů.

Významným mezníkem v oblasti zajištění komponentů kolejových vozidel je nasazení aditivní technologie výroby 3D tiskem. Technologií 3D tisku lze řešit sériové komponenty do nových vozidel, komponenty do údržby, ale i reverzní inženýring nebo proces obsolescence. Tento nekonvenční způsob výroby je již pevně zakotven v mnoha jiných odvětvích (letectví, medicína, umění a další). Na **obr. 1** jsou výstupy z 3D tisku v podobě uměleckých předmětů.

Masivní rozvoj této technologie je dán především výhodami, které přináší. Hlavní výhody této technologie jsou:

- neomezená svoboda tvaru navrhovaných komponent, včetně složité vnitřní struktury,
- snížení hmotnosti při zachování pevnostních vlastností,
- integrace několika komponentů do jednoho komponentu s využitím různých materiálů,
- absence použití nástrojů a přípravků (snížení jednorázových nákladů),
- minimální časová náročnost výroby oproti konvenčním technologiím,
- redukce celkových nákladů výroby spojená s časy a operacemi.

Přestože přínosy této aditivní technologie jsou nesporné, existují i omezení, která je potřeba intenzivně a cíleně řešit, aby bylo možné konvenční komponenty spolehlivě a se zvýšenou přidanou hodnotou nahrazovat komponenty vyrobenými 3D tiskem. K tomu přispívá nejen cílený výzkum mechanických a materiálových vlastností, ale také kontinuální vývoj technologií a systémů pro tisk, dle aktuálních potřeb norem a zákazníků. Jedná se např. o materiály, které musí plnit požadavky normy EN 45 545 na požární bezpečnost komponentů a částí kolejových vozidel podle jejich klasifikace.

## 2 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE

3D tisk je technologie aditivní výroby. Na rozdíl od obrábění (subtraktivních metod) se materiál nanáší ve tvaru požadovaného výrobku. Nanášení obvykle probíhá po vrstvách a výsledný výrobek má rozdílné vlastnosti v závislosti na jejich orientaci. Orientace ovlivňuje estetiku a mechanické vlastnosti výrobku.

Technologie 3D tisku umožňuje vytvoření libovolného tvaru, včetně těch, které nejsou vyrobitelné klasickými metodami. Náročnost na obsluhu zařízení, prostor, vybavení je pro plastový a kovový 3D tisk rozdílná. U kovového 3D tisku formou vstupního materiálu prášku, je nutné mít speciální ventilované prostředí a dodržovat předepsaná bezpečnostní opatření na ochranu zdraví osob.

Před samotným 3D tiskem v rámci předvýrobní etapy je nutné vždy 3D data v univerzálním formátu načíst do SW, který je určen pro tisk na konkrétním zařízení. V rámci optimalizace před tiskem je nutné upravit data tak, aby byl komponent tisknutelný. Současně je nutné stanovit umístění na podložce vzhledem k tisku, uspořádání podpor a zohlednit při tom následné zatížení komponentu. Důležitým parametrem je i doba tisku a spotřeba materiálu. U malých, a ne tvarově složitých, komponentů lze docílit tisku v řádu minut, naopak u složitých komponentů může docházet k tisku i několik dní. V rámci etapy post-processing může docházet k dalšímu tepelnému zpracování, nebo povrchovým úpravám.

### 2.1 Normy a standardy

Standardizace a normy se pro tuto novou technologii postupně vytvářejí. Aditivní technologii a oblast 3D tisku nyní řeší tyto normy: ISO 17295, ISO 17296, ISO/IEC 23510, ISO/ASTM 52900, ISO/ASTM 52901, ISO/ASTM 52902, ISO/ASTM 52903, ISO/ASTM 52904, ISO/ASTM TR 52905, ISO/ASTM TR 52906, ISO/ASTM 52907, ISO/ASTM FDIS 52908, ISO/ASTM 52909, ISO/ASTM 52910, ISO/ASTM 52911, ISO/ASTM TR 52912, ISO/ASTM DTR 52913, ISO/ASTM 52915.

## 2.2 Najčastejšie technológie 3D tisku

### BJ – Binder Jetting

Na podložku je nanášan práškový materiál, do ktorého je tiskovou hlavou nanášané tekuté pojivo.

### FDM/FFF – Fused Deposition Modeling/Fused Filament Fabrication

Materiál ve formě struny je roztaven a nanášen tryskou po vrstvách. Nejrozšířenější a technologicky nejjednodušší technologie 3D tisku, umožňuje použití široké škály materiálů včetně flexibilních.

### SLA – Stereolitografie

Vstupní materiál je ve formě tekuté fotopolymerické pryskyřice, vrstva po vrstvě se vytvrzuje pomocí UV záření. Tato technologie umožňuje velmi jemný a detailní tisk, ale je nutné následně omytí od nevytvrzené pryskyřice a dovytvrzení modelu UV světlem.

### SLS – Selective Laser Sintering

Používá se práškový materiál, který se po vrstvách nanáší na pracovní podložku. V každé vrstvě je požadovaný tvar spečen laserovým paprskem. Nespečený prášek je následně odstraněn a lze ho použít při dalším tisku. Výhodou je, že prášek vyplňuje celý prostor a působí tak zároveň jako podpůrný materiál pod převisy.

### SLM – Selective Laser Melting

Používá se práškový kovový materiál, který se po vrstvách nanáší na podložku metodou selektivního tavení kovového prášku působením laserového paprsku.

### DMLS – Direct Metal Selective Laser Melting

Používá se práškový materiál slitin, který se po vrstvách nanáší na podložku metodou selektivního tavení kovového prášku působením laserového paprsku.

### WAAM – Wire and Arc Additive Manufacture

Materiál ve formě kovových strun se nanáší formou velkého počtu návarových housenek na sebe. Tepelným zdrojem je elektrický oblouk.

## 2.3 Typy materiálů

Podle typu technologie 3D tisku se využívají různé typy materiálů včetně různých skupenství vstupních materiálů. Pro kovový tisk to jsou převážně různé typy prášků, nebo strun. Jedná se o hliníkové, kobaltové, niklové a titanové slitiny. Dále nástrojovou a nerezovou ocel a ostatní kovy.

Pro plastový tisk jsou užívány převážně struny, prášky, nebo granuláty. Jedná se například o tyto materiály: ABS, ASA, Nylon (PA), PET, PP, PLA, PC, PVB a další.

U některých výrobců je možné využít vstupní materiály z otevřené platformy s možností využití na různá zařízení. V dalších případech jsou to uzavřené platformy, kde je nutný nákup od jednoho dodavatele.

## 3 KOVOVÝ 3D TISK, RŮZNÉ APLIKACE

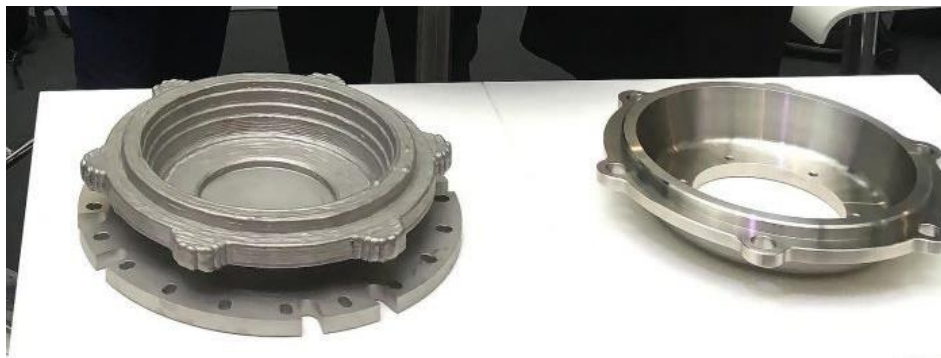
### 3.1 Využití u konkurence, provozovatelů

Deutsche Bahn (DB) byla jedním z průkopníků v zavádění 3D tisku v rámci náhradních komponentů. V poslední dekádě společnost DB identifikovala možnost aplikace aditivní technologie pro více než 100 komponentů.

Většina těchto komponentů je relevantní pro provozuschopnost kolejových vozidel, které provozuje DB. Jejich nedostupnost způsobuje dlouhé prostoje a z toho plynoucí ztráty.

Na **obr. 2** je víko ložiskové skříně lokomotivy řady 294 DB. Komponent byl vyroben klasickou technologií lití. Tato technologie však obvykle zahrnuje vysoké minimální nákupní množství a částečná dodávka může trvat několik měsíců. Pro údržbu bylo zatím potřeba jen

několik kusů. 3D tisk jednoho víka ložiskové skříně pomocí technologie WAAM trval několik hodin.



**Obr. 2** Příklad kovového víka ložiskové skříně [1]

**Fig. 2** Example of metal bearing box cover [1]

Kooperace podniků řešící téma aditivní technologie v rámci železničních společností v Německu je v rámci MGA skupiny <https://mga-net.com/>.

### 3.2 Využití ve společnosti ŠKODA

Kovový tisk společnost ŠKODA zatím využívá ojediněle, a proto se zapojila do dotačního projektu, který 3D tisk řeší z více hledisek. Výsledky dotačního projektu mají pomoci v dalším nasazení a využívání kovového 3D tisku.

Většina zkoušek se nyní prováděla na materiálu 316L a MS1, které se využívají pro výrobní technologii DMLS. U materiálů docházelo jak k testování vzorků, tak komponentů. Dále byl ověřován dopad korozní odolnosti a různých provozních teplot okolí. U komponentů se vždy řešila také nákladová a časová náročnost tisku.

**TAB. 1** S náhradami klasických materiálů s použitím materiálů pro 3D tisk [3]

**TABLE 1** With substitutes for classic materials with using materials for 3D printing [3]

Originální mat.	Materiál tisku
1.4308+AT	316L
1.4162+1D	316L
S460NL	MS1
1.4301	316L

V **TAB. 1** jsou uvedena označení běžně užívaných materiálů a jejich relevantní alternativy pro 3D tisk.

S využitím náhrad byla provedena výroba komponentů pomocí 3D tisku. Před samotným tiskem muselo dojít k optimalizaci komponentů. U některých vyráběných a zkoušených komponentů byla využita i topologická optimalizace z důvodu snížení hmotnosti, spotřeby materiálu a zkrácení času.

Na **obr. 3** je vidět jeden komponent konzoly tlumiče, který byl vytvořen v rámci dotačního projektu. Na levém obrázku je vidět komponent vyrobený klasickou technologií, na pravém obrázku je komponent vyrobený kovovým 3D tiskem z materiálu MS1.



**Obr. 3** Komponent konzoly tlumiče [3]

**Fig. 3** Component of damper's bracket [3]

Na **obr. 4** je zobrazena náhradní zástavba konzoly tlumiče pro dal s  testování. Na **obr. 5** je statick  a dynamick  testování sestavy zástavby konzoly tlumiče. Na **obr. 6** jsou výsledky vzorků materiálu MS1 z  navov  zkoušky. N kter  z vzorků jsou ovlivněny provozními podmínkami z korozního prostředí.



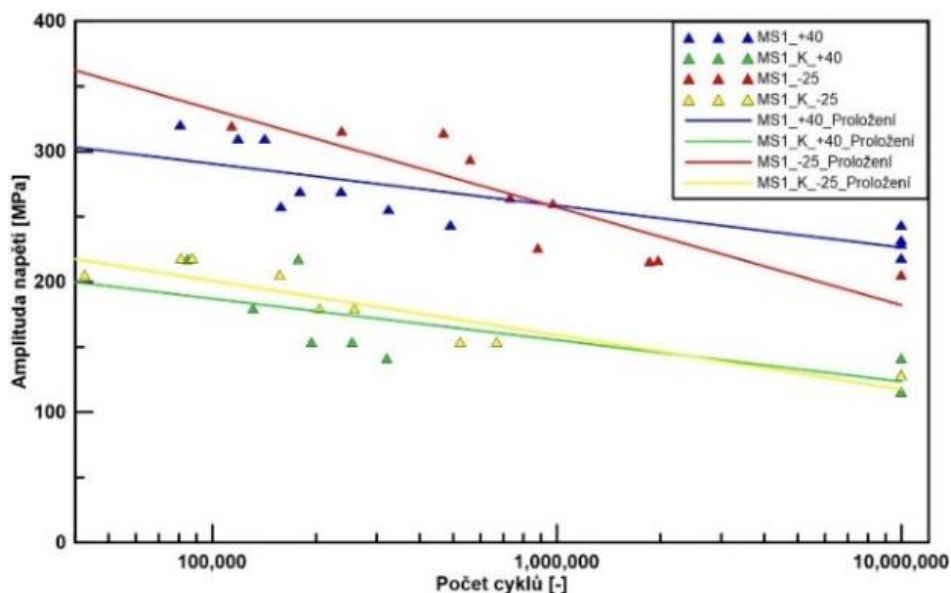
**Obr. 4** Kompletn  sestava z stavby pro testování konzoly tlumi e [3]

**Fig. 4** Complete assembly for testing of component of damper's bracket [3]



**Obr. 5** Statick  a dynamick  testování sestavy konzoly tlumi e [3]

**Fig. 5** Static and dynamic testing of damper's bracket assembly [3]



**Obr. 6** Wöhlerova křivka pro různé zkušební podmínky materiálu MS1 [3]

**Fig. 6** Wöhler curves for different test conditions of MS1 material [3]

#### 4 PLASTOVÝ 3D TISK, RŮZNÉ APLIKACE

##### 4.1 Využití u konkurence, provozovatelů

Společnost CAF, tak jako většina světových výrobců, využívá aditivní technologii 3D tisku. CAF aktivně využívá tuto technologii již od roku 2016 pro exteriér i interiér kolejových vozidel.

Na **obr. 7** je vše v rámci zeleně vyznačené oblasti u tramvaje Urbos vyrobeno 3D tiskem pomocí technologie FFF. Společnost také používá velkoplošný 3D tisk k výrobě exteriérových komponent o velikosti několika metrů.

Společnost ALSTOM využívá technologii 3D tisku na přední části tramvajů, viz **obr. 8** a **obr. 9**.



**Obr. 7** Příklad tištěných komponent na čele tramvaje Urbos [1]

**Fig. 7** Example of printed components from front part of Urbos tram [1]



**Obr. 8** Příklad čelních krytů tramvají Citadis [2]

**Fig. 8** Example of front covers from Citadis tram [2]

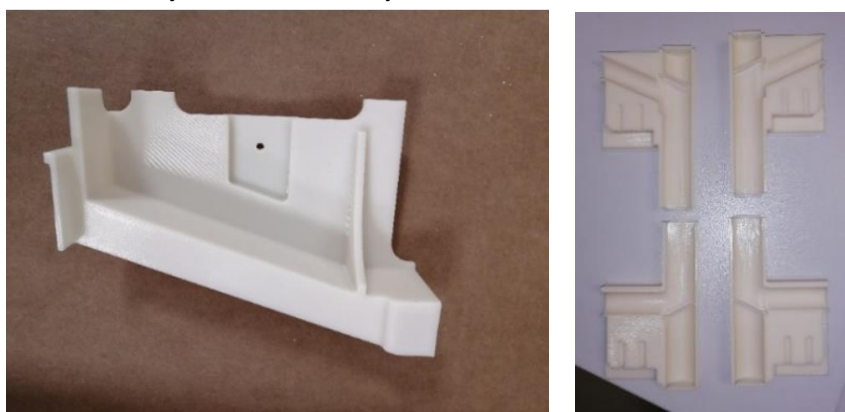


**Obr. 9** Čelního krytu světel tramvaje Citadis [2]

**Fig. 9** Front covers of light from Citadis tram [2]

#### 4.2 Využití ve společnosti ŠKODA

Plastový tisk využívá společnost ŠKODA již několik let a v současné době má ve výrobním portfoliu několik zařízení umožňující 3D tisk. Díky této technologii jsme schopni pružně reagovat na poptávku komponentů pro prototyp, sérii, nebo v rámci náhradních komponentů. Používají se hlavně materiály ABS, ASA a ULTEM.



**Obr. 10** Ukázka komponentů vytištěných ve společnosti ŠKODA [3]

**Fig. 10** Sample of components printed at ŠKODA [3]

Na **obr. 10** je ukázka komponentů tištěných ve společnosti ŠKODA. Na pravé straně je komponent rohovníku vyrobený z materiálu ULTEM a na pravém obrázku jsou komponenty vedení vyrobené z materiálu ABS.

## 5 ZÁVĚR

Vývoj aditivní technologie je velmi progresivní a využití této technologie je stále častější. Díky této technologii lze docílit menších dopadů na životní prostředí a snížení CO<sub>2</sub> při výrobě požadovaných komponentů. Využití plastového 3D tisku je již standardem u většiny výrobců kolejových vozidel několik let. U kovového 3D tisku dochází k jeho postupnému rozšiřování hlavně v rámci údržby kolejových vozidel.

V rámci dotačního projektu společnost ŠKODA, získala zkušenosti s aplikací kovového 3D tisku. Na základě této zkušenosti bude v budoucnu snadnější správně nastavit základní parametry, ovlivňující výsledek 3D tisku, jako je správná volba typu materiálu, technologie, topologické úpravy tvaru pro tisk při zohlednění budoucího nasazení. V potaz budou také brány vnější vlivy, způsoby zatěžování a případné mechanické opotřebení.

Společnost ŠKODA se nyní v rámci aditivní technologie spoléhá na tyto tři základní pilíře:

- zohlednění možnosti využití aditivní technologie již při samotném návrhu,
- výroba prototypů s ověřením, rychlejší rozběh sériové výroby,
- aplikace pro servis vzhledem k objemu náhradních komponentů.

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu číslo FW01010362 „Aplikace aditivní technologie kovového tisku ve stavbě kolejových vozidel“.

## Literatura

[1] Im Rampenlicht: 3D Druck im Schienenverkehr URL: <https://amfg.ai/de/2019/12/20/im-rampenlicht-3d-druck-im-schienenverkehr/>. [2] Printing Railway Parts on-Demand, Massivit 3D Printing Technologies Ltd, 2023. [3] Interní materiály společnosti ŠKODA Transportation a.s.



## Resumé

*V příspěvku jsou shrnuty současné trendy aditivní technologie 3D tisku pro kolejová vozidla. Jsou zde popsány jednotlivé technologie 3D tisku, jejich materiály a normy. Dále jsou zde zobrazeny ukázky plastových, nebo kovových 3D tisků od společnosti DB, ALSTOM a CAF. V detailu s aplikacemi ve společnosti ŠKODA a závěry z dotačního projektu Trend. Jedná se dily vytištěné z materiálu MS1, nebo 316L. Jako příklad zde je ukázán tisk konzoly tlumiče.*

## Summary

*The current trends of additive 3D printing technology for rolling stock are summarized in the contribution. The individual technologies for 3D printing, their material and standards are described here. Further the demonstrations of plastic or metal 3D printings from DB, ALSTOM and CAF companies are displayed here. The subsidy project Trend conclusions are in detail with the applications at the ŠKODA company. There are the parts printed from material MS1 or 316L. As an example, the print of a damper's bracket is shown here.*