



## 55. díl – AirBOS, BOSCO, QueSST a další aneb nadzvukový let bez třesku (V)

Nadzvuková civilní přeprava zažívá renesanci a počet aktivit vedoucích k navrácení mimořádně rychlých dopravních letadel zpět na oblohu utěšeně roste. Před rokem jsme si sérií článků přiblížili současné snahy vyvinout nadzvukový letoun, jenž by se vyznačoval velice slabým aerodynamickým třeskem. Dnešním dílem na tato povídání navážeme, neboť se od doby jejich publikování objevilo poměrně dost novinek, které nelze nechat stranou. Konkrétně se bude jednat o přehled experimentů s vizuálním záznamem rázových vln, shrnutí aktuálního počínání v případě demonstrátoru tichého supersoniku, na němž pracuje NASA, vrátíme se k japonským pokusům na tomto poli a rovněž se podíváme na pokroky mezi soukromými firmami usilujícími o vstup na tento trh.

Hlavním znakem nadzvukového letu jsou rázové vlny, což je označení pro nahromadění molekul vzduchu, které se utváří vlivem pohybujícího se předmětu, jehož rychlost je vyšší než rychlost pohybu těchto molekul. Tím dochází ke vzniku přetlaku, který se projevuje onou ránou, kterou je možné pocítit na vlastní uši. Je proto pochopitelné, že metody záznamu intenzity rázových vln se zaměřují na akustická měření, neboť to, jak aerodynamický třesk slyšíme, je z praktického hlediska tím nejdůležitějším aspektem. Ovšem jak už tomu bývá, k plnému porozumění danému fenoménu je třeba mít o jeho podstatě informací více. Včetně vizuálních. Proto se výzkumníci amerického Národního úřadu pro letectví a kosmonautiku (NASA) stále intenzivněji zaměřují v případě tichých supersoniků na využití metody známé jako schlieren fotografie (doslova fotografie pruhů).

Rázové vlny nejsou běžně vidět, tudíž je pro jejich zviditelnění potřeba využít speciálních metod. Slouží k tomu takzvaná metoda schlieren, za jejímž vynálezem v roce 1864 stál německý fyzik August Toepler. Její podstata spočívá v tom, že ačkoli je vzduch sám o sobě neviditelný, při průchodu tělesa tímto prostředím utvářejí uhýbající molekuly vzduchu nové oblasti, na nichž dochází ke změně vlastností šíření světla. Na těchto rozhraních či vlnách se tak světlo láme, čehož lze využít k záznamu tlakových přechodů vznikajících při nadzvukovém pohybu tělesa, nejenom

letadel, ale i kupříkladu projektilů. Čili při vhodném nasvícení a správném usměrnění světelných paprsků lze fotograficky zaznamenat změny v proudění kolem letadel pohybujících se rychleji než zvuk. Tato fotografická metoda se v letectví uplatňovala po dlouhou dobu při provádění měření na modelech v aerodynamických tunelech, kde měla a nadále má značnou hodnotu. Ovšem v tomto případě sdílí i nevýhody spojené s testováním v aerodynamických tunelech. Především jistou umělost celého prostředí. Ještě větší užitek by proto mohlo přinést její využití v reálných letových podmínkách, tedy na skutečných letadlech během letu.

Zasloužil se o to Leonard Weinstein z Langleyho výzkumného střediska NASA, který na počátku devadesátých let zkonstruoval fotoaparát, jenž nazval SAF (Schlieren for Aircraft in Flight, schlieren technika pro letící letadla). Ten se skládal z hvězdářského teleskopu, mřížky usměrňující světlo procházející optikou a fotoaparátu. Funkčnost tohoto zařízení prokázal 13. prosince 1993 na Wallopově ostrově ve Virginii, kdy pořídil snímek nadzvukového letu letounu T-38, přičemž rázové vlny byly jasně patrné. Způsob práce s fotoaparátem SAF vypadal tak, že objektiv neustále směřoval na sluneční kotouč, zatímco pilot s letounem přelétal po přesně určené trajektorii ve výšce 4 175 metrů rychlostí Mach 1,1. Této metodě, kdy se ke zviditelnění proudění kolem předmětu používá nějakého konkrétního pozadí (v tomto případě Slunce), se říká schlieren orientovaná proti pozadí (anglicky Background Oriented Schlieren, BOS). Zpočátku se používal k záznamu 16mm film, ten však během tohoto použití trpěl prohýbáním, což se odrazilo ve zkresleních na pořizovaných snímcích. Weinstein se proto rozhodl tento nedostatek odstranit a použil digitální záznam obrazu. Tuto úpravu úspěšně ozkoušel 22. června 1995, kdy souběžně pořizovala snímky i předchozí kinofilmová verze SAF, načež se ze srovnání prokázala lepší kvalita záznamu u digitálního přístroje. K dalšímu zlepšování kvality pořizovaných snímků dochází přirozeně v průběhu let zlepšováním používané techniky. Čímž se dostáváme k nejnovějším počínům v této oblasti.

**CaKEBOS:** Je zkratka z Calcium-K Eclipse Background Oriented Schlieren (schlieren orientovaná proti pozadí využívající vápnickový filtr). Fotografování rázových vln proti Slunci mělo ale určitou nevýhodu, a to, že jej bylo možné uskutečňovat pouze na kontrastních místech. Což jinak řečeno znamená na rozhraní mezi hvězdou a okolním prostředím. Takže při jednom průletu se daly pořídít v zásadě jen dva snímky, při vstupu před Slunce a při opouštění slunečního kotouče. Důvodem bylo, že používaná fotografická technika nezobrazovala sluneční skvrny a další jevy na povrchu hvězdy, čímž se ztrácel kontrast a při průletu přes střed Slunce nebylo možné rázové vlny spatřit, neboť neměly vůči čemu vyniknout. Coby řešení se nabídlo použití filtrů propouštějící pouze vlnovou délku v takzvané čáře vápniku (393,4 nm), které používají astronomové, aby mohli sledovat dění na naší mateřské hvězdě. Pro ověření funkčnosti tohoto řešení sloužil právě program CaKEBOS. Pořízené snímky potvrdily správnost použití tohoto filtru.

**AirBOS:** Neboli Air to Air Background Oriented Schlieren (schlieren orientovaná proti pozadí určená ke snímkování letadla z letadla). Prozatím všechny snahy o zachycení rázových vln letícího letadla metodou schlieren se omezovaly na jejich sledování ze země. Nové možnosti a potenciálně i nové informace by mohlo poskytnout snímkování z jiného letadla. A tak vznikl program AirBOS, který v průběhu tří cyklů tuto oblast prozkoumával. Jakožto pozadí sloužila poměrně jednotvárná poušť, vůči které byly rázové vlny dobře viditelné, a zároveň ji bylo možné následně v průběhu zpracování snímků snadno odstranit, díky čemuž jsou vzniklé snímky rázových vln mimořádně kvalitní a mají vysokou vypovídací hodnotu (což dokládá úvodní snímek). V dubnu 2011 proběhl první cyklus tohoto programu nazvaný AirBOS 1, kdy kolmo dolů umístěná vysokorychlostní kamera na palubě letounu Beechcraft 200 King Air snímala letoun F/A-18 letící níže rychlostí až Mach 1,09. Druhý cyklus nazvaný AirBOS 2 se uskutečnil v září a říjnu 2014, přičemž cílem tentokrát bylo ověření, zda lze tento druh snímkování použít i v jiném úhlu než kolmo dolů. Do zkoušek se zapojil rovněž letoun F-15 z flotily NASA. Obměnou prošlo i snímkové zařízení, kdy King Air nesl kameru s větším rozlišením a vyšší rychlostí snímkování a lepší optikou, díky čemuž bylo možné pořídit větší počet kvalitnějších snímků. Ke třetímu cyklu AirBOS 3 pak došlo v únoru 2015. Tentokrát se do zkoušek zapojil vedle King Airu a letounu F-15 od NASA i T-38C ze Školy testovacích pilotů amerického letectva (USAF TPS). Uskutečněné testy sloužily k dalšímu prohlubování znalostí o snímkování rázových vln z letadla. Tento způsob sice přináší skutečně mimořádně kvalitní snímky rázových vln, ale má jednu poměrně zásadní nevýhodu. Je velmi finančně nákladný. Kromě toho, že je třeba mít ve vzduchu kromě snímkaného stroje i stroj nesoucí kameru, což v podstatě zdvojnásobuje náklady, je nutné připočítat i to, že technika musí být certifikovaná pro použití v letadle, což opět něco stojí. Naproti tomu snímkové zařízení umístěné na zemi žádnou certifikaci procházet nemusí a je více méně možné použít součástky, jež jsou běžně dostupné. Což si sami výzkumníci pochvalují.

**GASPS:** Je zkratka z Ground to Air Schlieren Photography Systems (systémy schlieren fotografování ze země do vzduchu), přičemž snímkové systémy vyhotovila v roce 2013 firma MetroLaser Inc. na základě objednávky NASA. Smyslem projektu bylo vyvinout pokud možno co nejjednodušší aparaturu (a tedy i velice levnou). Ta se skládala z běžně dostupného teleskopu a digitálního fotoaparátu, kdy hlavní část práce na snímcích měl odvést až následně počítačový program. Díky tomu nekladla obsluha kamery nijak velké nároky na obsluhu a její přesnost, takže celý systém bylo možné používat bez dlouhých příprav kdekoli v terénu.

**BOSCO:** Neboli Background Oriented Schlieren using Celestial Objects (schlieren orientovaná proti pozadí tvořeném z vesmírných objektů). Tento prozatím nejnovější program uskutečněný v březnu 2016 navazuje na CaKEBOS, neboť těží z poznatků ohledně využití optických filtrů pro

zlepšení schopností záznamové aparatury. V tomto případě se ale využívá takzvaný H-alfa sluneční filtr. Tento filtr propouští pouze záření o vlnové délce 656,28 nm. Díky tomu je možné odstranit z pozorování ostatní vlnové délky, které běžně zahltí obraz natolik, že zaniknou detaily na slunečním povrchu. Při použití tohoto filtru naopak vynikne textura na povrchu hvězdy, proti které je pak možné sledovat rázové vlny vznikající kolem letounu pohybujícím se nadzvukovou rychlostí. Těchto zkoušek se zúčastnil letoun T-38C z USAF TPS.

Právě popsané výzkumné programy posloužily ke zdokonalení techniky schlieren fotografie, čehož bude následně využito při letových testech demonstrátoru tichého supersoniku, na kterém NASA pracuje. Série výzkumů studující vizuální záznam rázových vln tak výtečně doplňuje výzkumy záznamu akustického, jimž jsme se věnovali v dřívějšku (viz 27. díl). Pro představu, jak vypadají snímky pořízené jednotlivými metodami, jakožto i vůbec první fotografie pořízená v roce 1993, přikládám níže odkazy na jednotlivé obrázky.

**QueSST:** Demonstrátor tichého supersoniku, který má být pomyslným vyvrcholením současných snah o nadzvukové civilní dopravní letouny a zároveň jejich předvojem, se nezadržitelně přibližuje a prakticky každým dnem získává na obrysech. Počáteční aktivity na tomto stroji lze vysledovat do roku 2013, kdy výzkumníci specifikovali požadavky, jež by měl tichý supersonik splňovat. Následně od června 2014 do října 2015 zpracovaly vývojové týmy firem Lockheed Martin a Boeing předběžné návrhy letounů, které by dané požadavky naplňovaly. NASA předložené návrhy obou firem vyhodnotil a 29. února letošního roku vyhlásil coby úspěšnější návrh společnosti Lockheed Martin, s nímž uzavřel kontrakt na vývoj tohoto letounu v rámci programu QueSST (Quiet SuperSonic Technology, technologie tichého nadzvukového letu). Přijatá studie stroje ze Skunčích dílen je označovaná jako konfigurace C606, přičemž zveřejněna byla jak vizualizace letounu (viz obrázek v odkazech), tak i předběžná technická data. Délka letounu má činit 19,5 metru, rozpětí 8,9 metru, výška 4,1 metru. Prázdná hmotnost 6 350 kg, nejvyšší vzletová hmotnost pak 10 205 kg. O pohon se má starat jeden motor General Electric F404, přičemž projektovaná rychlost je Mach 1,42 a dostup 16 764 metrů. Pilot bude sedět na vystřelovací sedačce přejeté ze strojů T-38. První let se očekává koncem roku 2019. Prvotní část zkoušek se má zaměřovat na ověřování technických aspektů spojených s tichým aerodynamickým třeskem. Následovat by měla série testů, jejichž cílem bude zjišťování reakcí obyvatel na takovéto stroje. Výzkumníci očekávají, že na přelomu let 2021 a 2022 by mohlo dojít k alespoň předběžné formulaci standardů pro tichý nadzvukový let nad pevninou, na jejichž základě by se upravila legislativa, jež prozatím takové lety nepovoluje. Poté by měla nová éra civilního letectví dveře otevřeny dokořán.

Pokroku dosáhl i program D-SEND, o němž jsme referovali dříve (viz 27. díl). Pro osvětlení, výzkumníci z Japonské letecké výzkumné agentury (JAXA) v sérii letových testů na švédském

kosmodromu a střelnici v Kiruně ověřovali nejprve různě tvarovaná tělesa (NWM a LBM) a jejich vliv na intenzitu třesku, načež přistoupili k pokročilejším testům zmenšeného modelu potenciálního nadzvukového dopravního letounu (S3CM). Ten je navržený tak, aby umenšoval rázové vlny jak na přídě, tak i na zádi. Zkoušku se však povedlo uskutečnit s pouze částečným úspěchem, neboť se letoun odchýlil od plánové trati, kvůli čemuž se nepodařilo uskutečnit všechna měření. To bylo v srpnu 2013. O rok později se japonská výzkumníci do Kiruny vrátili, ale tentokrát do karet nehrálo počasí, takže se test neuskutečnil vůbec žádný. Teprve až 24. července 2015 se všechno zdařilo. Letoun se od heliového balónu oddělil ve výšce 30,5 km a volným pádem se vydal k zemi nad sestavu měřicích aparatur. Nejvyšší rychlost dosáhla Mach 1,39. Vše běželo přesně podle plánu, takže tentokrát se již podařilo posbírat všechna potřebná data. Zároveň JAXA představila vizualizaci a předběžná data konceptu, jenž by mohl předcházet plnohodnotnému japonskému civilnímu supersoniku. Stroj s dvojicí motorů na zádi s kapacitou 36 až 50 cestujících má mít délku 47,8 metru, rozpětí 26,6 metru, výšku 7,3 metru a maximální vzletovou hmotnost 70 tun. Cestovní rychlost je projektována na Mach 1,6 a dolet přes šest tisíc kilometrů. Je zajímavé, že v porovnání s letounem Aerion AS2, jenž je určen pro maximálně 12 cestujících, má být tento letoun o téměř čtyři metry kratší.

Projekt nadzvukového bizjetu Aerion AS2 dosáhl významného milníku, když 17. listopadu 2015 americká společnost Flexjet závazně objednala 20 těchto letounů v hodnotě 2,4 miliardy dolarů (tedy 58,5 miliardy korun), přičemž stroje by měly být dodávány od roku 2023. Flexjet je plánuje nasazovat na lety přes oceány jakožto i lety nad územím Číny, kde neplatí zákaz nadzvukových přeletů nad pevninou. Zajímavé je vyjádření ředitele Flexjetu, který prozradil, že původním záměrem bylo zakoupení „pouze“ deseti strojů, ale po konzultacích se svými zákazníky, kteří projevíli značný zájem o tuto kategorii letadel, se rozhodli pro objednávku dvojnásobného počtu strojů. Jen dodávám, že letové testy dvanáctimístného letounu AS2 s nejvyšší rychlostí Mach 1,6 mají začít v průběhu roku 2021. Od loňského roku zahájil Aerion spolupráci se skupinou Airbus, nicméně obě společnosti mlží, jakou podobu spolupráce má. Proslýchá se, že by Airbus měl vyrábět komponenty letadla. Rovněž za připomenutí stojí, že letoun AS2 není projektován jako ryzí supersonik s tichým třeskem. Tam, kde není nadzvukový let povolený, má létat těsně podzvukovou rychlostí, i když se očekává, že při rychlosti až Mach 1,2 rázové vlny nedolehnu k zemi. Nejvyšší rychlost Mach 1,6 má být využívána pouze nad vodními plochami či místy, kde není nadzvukový let zakázaný.

V letošním roce na pole nadzvukové civilní přepravy vstoupil nový hráč, a to společnost Boom Technology. Ta představila vizualizaci celokompozitového 40místného nadzvukového stroje, jenž by měl dosahovat rychlosti až Mach 2,2. Technické podrobnosti jako rozměry, pohonné jednotky

a podobně nejsou známy, zatím se ví pouze to, že by sedadla měla být uspořádána v celkem dvaceti řadách, tedy v konfiguraci 1-1. Každý cestující by tak měl mít místo u okna. Firma Boom, jež sice vznikla již v roce 2014, ale až do letoška o sobě nedávala vědět, sídlí na letišti Centennial (KAPA/APA) nedaleko Denveru v Coloradu. Ačkoli se její záměr může jevit jako příliš velké sousto, při pohledu na výčet lidí, kteří za ní stojí, její důvěryhodnost poměrně výrazně vzrůstá. Ve vývojovém týmu působí „přeběhlík“ ze společnosti Gulfstream, jenž zde vedl zkoušky systému pro utišení aerodynamického třesku Quiet Spike (viz 25. díl), několik inženýrů z firem Scaled Composites či Boeing, odborník na proudové motory z firmy Pratt & Whitney, u níž pracoval na pohonných jednotkách pro stíhací letouny F-22 Raptor a F-35 Lightning II, a v neposlední řadě i veteráni z legendárních Skunčích dílen společnosti Lockheed Martin, kteří se podíleli na výzkumech tichého nadzvukového letu uskutečněných tímto aerokosmickým gigantom. Skoro se zdá, že společnost Boom si založili nadšenci pro radost za účelem splnění společného snu. Už jen z tohoto důvodu bude stát za to sledovat budoucí vývoj projektu. Společnost Boom slibuje první vzlet stroje v třetinové velikosti před koncem roku 2017. A rovněž se netají tím, že o její letoun je již poměrně velký zájem. V této souvislosti se naplnil můj předpoklad, že novou generaci nadzvukové přepravy nenechá stranou britský miliardář Sir Richard Branson, jehož jméno se pojí se skupinou Virgin, kam patří Virgin Atlantic Airlines a Virgin Galactic. Ten s firmou Boom uzavřel předběžnou smlouvu na desítku jejích letadel v hodnotě 2 miliardy dolarů (48,5 miliardy korun). Vztah mezi nimi je však ještě hlubší, neboť Bransonova další firma The Spaceship Company (TSC), jež staví a vyvíjí turistický raketoplán SpaceShipTwo, se bude podílet na stavbě i letových zkouškách nadzvukového stroje vyvíjeného společností Boom. O dalších patnáct letadel má údajně zájem nejmenovaný dopravce z Evropy.

Jak je vidět, vývoj v oblasti tichého nadzvukového letu nabírá na obrátkách, takže se k tomuto tématu budeme jistě ještě mnohokrát vracet. Mám z toho ohromnou radost. Navíc se otevírají nové oblasti, které se budou muset v tomto směru řešit, například kvůli očekávanému snížení dopředné viditelnosti u těchto nových letounů přijdou na řadu systémy syntetického vidění pro piloty, zvýšené autonomie strojů samých a podobně. V budoucnu se proto těchto témat zcela jistě taktéž dotkneme. Na všech projektech týkajících se nadzvukového letu je výtečně vidět, že NASA není jenom „ta vesmírná agentura, která poslala astronauty na Měsíc“, ale že i nadále ctí ono první písmeno A ve svém návu (totiž Aeronautics, letectví), na což mnoho lidí občas zapomíná.

## **Kam dál?**

Fotografie rázových vln pořízená v roce 1993 Weinsteinem:

[https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/335011main\\_EC94-42528-1\\_full.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/335011main_EC94-42528-1_full.jpg)

Fotografie rázových vln pořízená metodou CaKEBOS:

[https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/cak\\_solar\\_bg1\\_sharp\\_0.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/cak_solar_bg1_sharp_0.jpg)

Fotografie rázových vln pořízená metodou BOSCO:

[https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/cak\\_colormap\\_0.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/cak_colormap_0.jpg)

Fotografie rázových vln pořízená metodou AirBOS:

[https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/airbos\\_f7\\_p6.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/airbos_f7_p6.jpg)

Video přibližující snímkování rázových vln: [https://youtu.be/T\\_xLxhyIdMo](https://youtu.be/T_xLxhyIdMo)

Video s ukázkou přechodu letounu přes sluneční pozadí: <https://youtu.be/dvgJIIWzgmQ>

Vizualizace letounu konfigurace C606 firmy Lockheed Martin v programu QueSST:

[http://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/quesst\\_medres\\_beauty\\_arial.png](http://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/quesst_medres_beauty_arial.png)

Koncept civilního supersoniku dle představ inženýrů z JAXA:

[http://www.aero.jaxa.jp/research/frontier/sst/images/next\\_generation01.jpg](http://www.aero.jaxa.jp/research/frontier/sst/images/next_generation01.jpg)

Vizualizace letounu firmy Boom Technology: <http://www.laguiadelvaron.com/wp-content/uploads/2016/03/boom2.png>

Předchozí díl (I): <http://airspotter.eu/Download/SSBD.pdf>

Předchozí díl (II): [http://airspotter.eu/Download/Quiet\\_Spike.pdf](http://airspotter.eu/Download/Quiet_Spike.pdf)

Předchozí díl (III): <http://airspotter.eu/Download/LaNCETS.pdf>

Předchozí díl (IV): <http://airspotter.eu/Download/D-SEND.pdf>

Předchozí díl (Intermezzo): <http://airspotter.eu/Download/Supersoniky.pdf>

*Marek Vanžura*

*(Photo © NASA)*