

UHPC JAKO MATERIÁL PRO BICÍ NÁSTROJE: REALIZACE A VLASTNOSTI

Jan Prchal¹

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
jan.prchal.1@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na oblast použití materiálu ultra-high performance concrete (UHPC), tedy ultra-vysokohodnotného betonu, pro výrobu korpusů bicích blanzvučných nástrojů. Jedná se o pilotní aplikaci materiálu tohoto charakteru a zároveň i o první vyrobený exemplář korpusu pro malý buben.

V první části je popsán návrh rozměrů a tvaru korpusu nástroje, který reflektuje specifické vlastnosti tohoto materiálu. Dále jsou podrobně popsány proces výroby formy, samotná betonáž korpusu a další potřebné úpravy korpusu. Zmíněny jsou způsob kompletace nástroje a všechny použité komponenty malého bubnu. Závěrečná a nejobsáhlejší část je věnována vlastnostem sestaveného nástroje. Popsány jsou rozličné parametry malého bubnu jako hmotnost, kvalita povrchů a především akustické vlastnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

UHPC • malý buben • korpus • akustika • forma

ABSTRACT

The thesis focuses on the application of ultra-high performance concrete (UHPC) to produce musical instruments, especially drum shells. This is a first application of this material and the first manufactured example of the snare drum shell.

The first part describes the design of the dimensions and shape of the instrument body, reflecting the specific properties of the material UHPC. Then the making of the mould, the concreting of the shell and other necessary modifications of the shell are described in detail. The method of assembling the instrument and all the components used for the snare drum are mentioned. The final and most comprehensive part is devoted to the properties of the assembled instrument. Various parameters of the snare drum are described, such as weight, surface quality and especially acoustic properties.

KEYWORDS

UHPC • Snare Drum • Shell • Acoustic • Mould

1. ÚVOD

Bicí nástroje, především jejich podskupina blanzvučné nástroje, jsou řazeny mezi nejstarší hudební instrumenty vůbec. Vznik prvních membranofonů se datuje mnoho tisíc let před n. l. I když prošla tato skupina nástrojů za dlouhá léta bouřlivým vývojem, mnohé principy fungování těchto nástrojů jsou (stejně jako nástroje samotné) využívány dodnes. Během bohaté historie blanzvučných nástrojů bylo k výrobě využíváno velké množství rozmanitých materiálů, a to v závislosti na mnoha faktorech. Stejně jako v jiných odvětvích lidské činnosti se i v oboru hudebních nástrojů vždy odrážel pokrok a nové technologie. Na poli betonového stavitelství se posledních pár dekad soustředí velká pozornost na jemnozrnné cementové kompozity, mezi které se řadí materiál UHPC.

Článek představuje jedno z odvětví, kterým se autor zabývá vedle práce na disertačním tématu, a navazuje na dříve zveřejněné články (Prchal, 2019), ve kterých je popsáno použití ultra-vysokohodnotného betonu pro korpusy bicích blanzvučných nástrojů v širším kontextu. V následujícím textu je blíže popsán proces výroby formy a samotného korpusu nástroje. Korpus je následně doplněn potřebnou mechanikou, blánami a výsledkem je zcela unikátní hudební nástroj – malý buben s korpusem z UHPC.

2. NÁVRH A KONSTRUKCE NÁSTROJE

Celková koncepce návrhu nástroje byla již dříve popsána. Na následujících řádcích jsou popsány skutečnosti, které při poměrně složitém procesu výroby ovlivnily původně zamýšlenou koncepci a znamenaly tak některé změny v návrhu korpusu a v postupu výroby. Základní myšlenka – odlít korpus z jednoho kusu UHPC bez dodatečných zásahů do stěn korpusu (například pro montáž mechaniky bubnů), ale zůstala zachována.

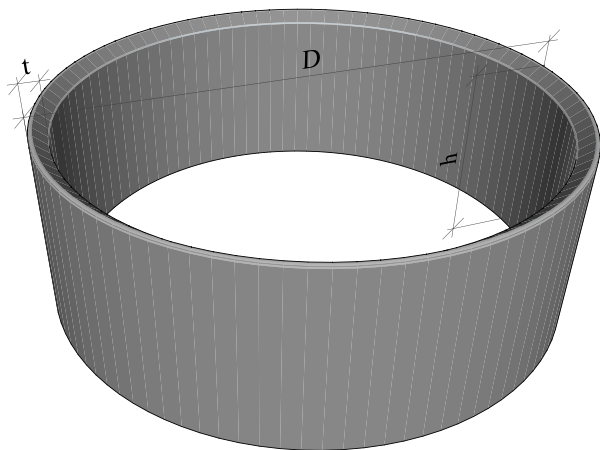
2.1. Rozměry korpusu

Jako první realizovaný nástroj s korpusem z UHPC byl zvolen malý buben. Patrně nejčastěji používaný průměr D malého bubnu je 14" (přibližně 356 mm) a pro tento rozměr byla navržena forma. Vzhledem k nejistotám souvisejícím s proveditelností výroby, a také s výslednými akustickými parametry byla (poněkud konzervativně) zvolena tloušťka

¹ Školitel: doc. Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D., FEng.

korpusu $t = 12 \text{ mm}$.² Právě tloušťka a vnější průměr korpusu jsou parametry, které vzhledem ke konstrukci formy nelze později změnit.

Jiná situace je v případě třetího parametru – výšky korpusu h , kterou lze volit v předem určeném rozsahu. Nejmenší výška korpusu je dána mechanikou pro tento typ malého bubnu a odpovídá velikosti $h_{min} = 3,5'' \cong 88,9 \text{ mm}$. Nejvyšší možná výška korpusu souvisí s několika dalšími parametry (vedle mechaniky bubnu také s tuhostí formy a celkovou hmotností nástroje) a je určena jako $h_{max} = 6,5'' \cong 165,1 \text{ mm}$.



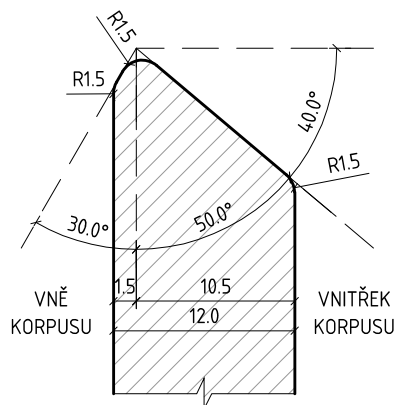
Obrázek 1: Schéma korpusu malého bubnu s hlavními rozměry

2.2. Tvar úložných hran

Úložné hrany jsou místem, kde dochází ke kontaktu blány – membrány, která plní funkci oscilátoru, s tělem nástroje a tedy i k přenosu energie kmitání. S ohledem na akustické vlastnosti celého nástroje se jedná o mimořádně důležitou část korpusu, která musí být zhotovena s vysokou přesností. Rozličným tvarováním hrany lze zásadně měnit charakter zvuku bubnu. Například pro ostré hrany s úhly 45° je charakteristický ostrý zvuk s dlouhým dozvukem, což je dáno malou kontaktní plochou mezi korpusem a blánou. Naopak bubny se zaoblenými hranami produkují měkčí a teplejší zvuk s kratší dobou dozvuku.

Při návrhu hrany bylo potřeba vystihnout takový tvar úložné hrany, který bude proveditelný z materiálu UHPC a zároveň bude do jisté míry korigovat předpokládané akustické vlastnosti korpusu. Přesný tvar a geometrie úložné hrany korpusu znázorňuje Obrázek 2, ze kterého je patrné zaoblení hrany o poloměru 1,5 mm. Touto úpravou by mělo dojít ke změkčení zvuku malého bubnu a také ke zkrácení dozvuku. Oproti většině korpusů malých bubnů vyniká tento korpus z UHPC tím, že má tvarovanou pouze jednu úložnou hranu. Na druhém konci je korpus zabroušen do roviny, což

souvisí s technologií výroby a použitou mechanikou celého nástroje (podrobněji v oddíle 3.4).



Obrázek 2: Tvar úložné hrany korpusu z UHPC

2.3. Materiál

Základním materiálem korpusu byl UHPC vyztužený krátkými PVA vlákny. Dávkování vláken odpovídalo 0,25 % objemu směsi. Receptura směsi UHPC je patentovaná Kloknerovým ústavem. Při výrobě prvků z kompozitu s obdobným způsobem vyztužení matrice je dosahováno průměrné pevnosti v tlaku ve stáří 28 dnů kolem 110 MPa (zjišťováno na krychlích o hraně 150 mm).

Vzhledem k charakteru aplikace, při níž nejsou kladeny zvýšené nároky na pevnost materiálu, nebyla při betonáži vyrobena zkušební tělesa pro stanovení mechanických parametrů.

3. VÝROBA

3.1. Forma

Při výrobě prvků z materiálu UHPC, jehož vlastnosti se v mnoha ohledech liší od běžného betonu, jsou na formy a na bednění kladeny zvýšené požadavky, a to z hlediska tuhosti, stability, těsnosti a v neposlední řadě i kvality povrchu. Stejně zásady jako pro konstrukční prvky z UHPC byly dodrženy i při stavbě formy na korpus malého bubnu.

Před samotnou přípravou formy byl podle návrhu popsán v části 2 zhotoven dřevěný korpus (Obrázek 3), který posloužil jako „kopyto“, neboli pozitiv pro odlití formy. Oproti výslednému korpusu z UHPC se liší pouze celkovou výškou, která je cca 190 mm. Struktura dřeva byla uzavřena – natřena barvou, ale povrch byl nebroušen a kresba dřeva zůstala přiznaná.

² I přes konzervativní volbu tloušťky korpusu se návrh vymyká konstrukčním zásadám, které jsou určeny pro konstrukční prvky (Kalný, Komanec, Kvasnička, Kolísko, & Tej, 2015).



Obrázek 3: Dřevěný korpus pro výrobu formy

Dřevěný pozitiv byl následně použit k odlití formy z pružného polymeru, který dokonale okopíroval navržený tvar. Pomocí plechu na vnější straně a plastové trubky byly zhotoveny stěny formy a do vzniklého mezikruží byl upevněn dřevěný korpus (Obrázek 4). Následně byl vzniklý prostor vyplněn polymerem, po jehož vytuhnutí a vyjmutí dřevěného pozitivu byla forma připravena na betonáž korpusu z UHPC.



Obrázek 4: Výroba formy

3.2. Betonáž

Objem UHPC pro výrobu jednoho korpusu výšky 100 mm je včetně rezervy cca 1,5 litrů. Výroba probíhá v obrácené poloze. Během betonáže do 12 mm širokého prstence je důležité důkladně probetonovat dno formy, ve kterém jsou tvarovány úložné hrany. Rozměrnější kavery nebo shluky menších otvorů, které mohou vzniknout při nedokonalém vyplnění dna formy betonem, mohou negativně ovlivnit zvuk nástroje. Formu bylo potřeba plnit betonem rovnoměrně po celém obvodu. V případě vyšší koncentrace materiálu v jedné části hrozí zdeformování tvaru, které by ohrozilo zkompletování nástroje.

Odformování proběhlo přibližně po 26 hodinách od začátku betonáže. Korpus bezprostředně po odformování je na obrázku (Obrázek 5). Následovalo ošetřování betonu ve vodní lázni.



Obrázek 5: Korpus po vyjmutí z formy

3.3. Dodatečné úpravy korpusu

Jak již bylo popsáno výše, celá koncepce korpusu pro bicí nástroj je založena na eliminaci zásahů do korpusu, které jsou problematické z hlediska technologie výroby, ale i výsledných vlastností nástroje. I přes skutečnost, že UHPC je takřka samonivelační materiál, není snadné docílit dokonale hladkého povrchu na lící ploše. Z toho důvodu byla spodní hrana korpusu dodatečně zbrušena a vyhlazena (Obrázek 6)



Obrázek 6: Broušení korpusu

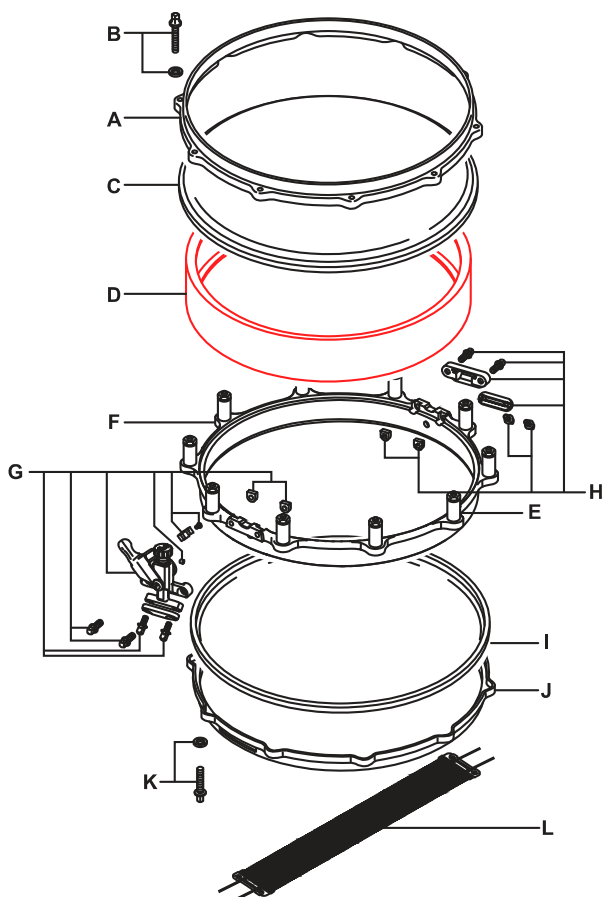
3.4. Kompletace nástroje

Ačkoli výroba v pravém slova smyslu končí odformováním, případně zabroušením hran korpusu, k dokončení celého nástroje je zapotřebí korpus doplnit o další komponenty. UHPC korpus byl svou kolmou hranou vsazen do speciálního kovového rámu (Obrázek 7 vlevo a Obrázek 8), na jehož spodní části je přes ocelovou obruč natažena rezonanční blána nástroje. Součástí rámu je rovněž strunění s mechanikou, které dotváří charakteristický zvuk malého bubnu.

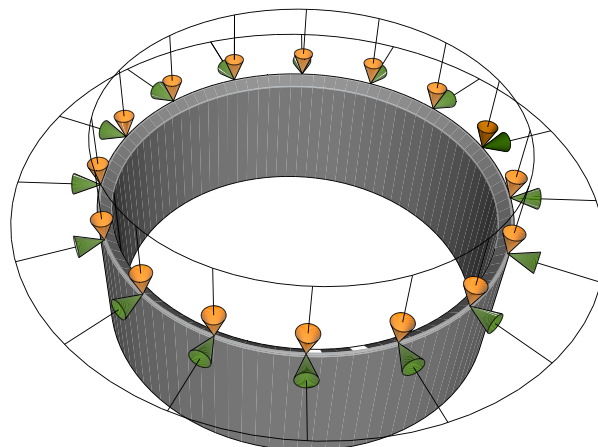
Přes horní úložné hrany korpusu se pomocí druhé obruče napne hrací blána. Napínání je prováděno šrouby se čtvercovou hlavou zašroubované do tyček ve spodním rámu (Obrázek 7 vpravo). Díky tomuto systému není nutné do těla korpusu v průběhu výroby nikterak zasahovat. Zároveň je po napnutí blan zajištěno příznivé silové působení korpusu: horní blána vnáší do korpusu svislou a radiální tlakovou sílu (Obrázek 9). Korpus je tímto účinkem ladění dokonale předepnutý.



Obrázek 7: Kompletace malého bubnu



Obrázek 8: Součásti malého bubnu (A – horní obruč; B – ladící šrouby; C – hrací blána; D – korpus z UHPC; E – tyčky vymezující výšku bubnu; F – rám pro uchycení mechaniky; G – napínací mechanismus struníku; H – mechanismus struníku; I – rezonanční blána; J – sporní obruč; K – ladící šrouby; L – struník)³



Obrázek 9: Síly působící na korpus po napnutí blan

4. VLASTNOSTI MALÉHO BUBNU

4.1. Hmotnost

Patrně nejsledovanější vlastností bubnu z betonu UHPC je vlastní váha. Dle předpokladů se jedná o jeden z praktických handicapů tohoto nástroje. Samotný korpus z UHPC s rozměry 14" x 4" a tloušťkou stěny 12 mm váží 3,14 kg. Po přičtení ocelového rámu, obou blan a ocelových ráfků dosahuje buben celkové hmotnosti 7,20 kg. Samotný javorový korpus obdobných rozměrů má pro srovnání 0,60 kg.

4.2. Povrch

Kvalita povrchu korpusu je ovlivněna především vlastnostmi čerstvého UHPC. Z hlediska odlévání je žádoucí co nejteplejší čerstvá směs, která dokonale okopíruje tvar formy. S ohledem na mechanické vlastnosti ztvrdlého materiálu a eliminaci smršťování je vhodné volit menší množství vody, což přináší i při použití superplastifikátoru zhoršené vlastnosti směsi pro ukládání do formy. Optimum je třeba hledat jako kompromis mezi dvěma zmíněnými hranicemi.

Povrchy prvně vyrobeného korpusu se vyznačují množstvím rovnoměrně rozmístěných malých pórů o velikosti do 1 mm² a lokálně se vyskytujícími většími kavernami okolo 25 až 50 mm² (Obrázek 10). Naopak v místě úložných hran jsou póry vzhledem k způsobu odlévání jen velmi omezeně. Na celém korpusu nejsou pozorovatelné žádné trhlinky, které by mohly ovlivnit zvuk bubnu. Kvalita povrchu odpovídá faktu, že směs byla spíše hustější a v některých místech došlo k uzavření vzduchu, který se držel při krajích formy.

UHPC věrně okopíroval kresbu dřeva, která spolu s barevností betonu (od tmavě šedých po světle šedé až bílé odstíny) dodává nástroji elegantní vzhled (Obrázek 11).

³ Graficky ztvárněno na základě (Pearl Drums Spare Parts Catalog (2016), 2019)



Obrázek 10: Kaverny patrné na vnější straně korpusu



Obrázek 11: Malý buben z UHPC při rozhlasovém natáčení

4.3. Akustické vlastnosti

Dle dostupných pramenů je bicí nástroj, jehož zvukotvorná součást je tvořena materiálem UHPC, zcela ojedinělý a jeho zvukové kvality tak nemohly být doposud vyzkoušeny ani zhodnoceny. Je nutné podotknout, že srovnání s jinými konvenčními typy nástrojů je zde nasnadě. Vzhledem k faktu, že použitý systém mechaniky lze obdobně použít například pro dřevěné (javorové a březové) a kovové (ocelové, hliníkové či měděné) korpusy, jsou otevřeny možnosti porovnávání těchto materiálů při současném zachování všech ostatních parametrů (tj. ráfků, blan), které nemalou měrou ovlivňují výsledný zvuk nástroje.

Po prvním naladění a rozeznění nástroje se ihned projeví dynamická škála, jež je položena do vyšších poloh. Nástroj se projevuje hlasitě až velmi hlasitě, což je kromě materiálu kor-

pusu dáno i použitím silných odlévaných ráfků. Žánrové uplatnění tohoto exempláře bude spíše ve tvrdších a hlasitějších stylech, nicméně při citlivější hře nelze vyloučit výjimky. Dynamický rozsah nástroje je velmi slušný; v nižší dynamice mírně ztrácí na artikulaci, záleží však na ladění.

Jedním z benefitů nástroje je stálost ladění.⁴ Malý buben s UHPC korpusem velmi dobře drží ladění. V průběhu času klesá napjatost blan zcela minimálně. Stejně tak i při klimatických výkyvech okolního prostředí jsou změny ladění minimální, což se pozitivně projevilo zejména při venkovních produkcích, ale i při transportu nástroje v zimním období. Důvodem je patrně kvalitní a robustní mechanika malého bubnu a zároveň i podobná velikost součinitele teplotní roztažnosti použitých materiálů (UHPC a oceli).

Rozsah ladění malého bubnu je značný. V nižších polohách, při podladění hrací (horní) blány, se krásně projevuje „tělo“ nástroje a zvuk má dostatek basů. Ve středním ladění je zvuk dobře artikulovaný a nástroj je dobře ovladatelný ve všech dynamických spektrech. To platí i při vyšším ladění a též při extrémnějším napnutí hrací blány, kdy je zvuk velmi pronikavý. Obecně se buben vyznačuje sušším zvukem s menší rezonancí, což je dáno jednak konzervativně zvolenou tloušťkou stěny korpusu (12 mm) a rovněž i tvarem úložných hran. Nástroj je tak po zvukové stránce dobře ovladatelný, vyznačuje se minimem overtonů a skrývá v sobě zbraň v podobě silného zvukového projevu.

V kontextu běžně vyráběných malých bubnů z konvenčních materiálů (jakými jsou různé druhy dřevin, kovů i plastů) lze označit zvuk malého bubnu s korpusem z UHPC jako naprosto odlišný a originální.

5. DISCUSSION

První realizace korpusu malého bubnu z materiálu UHPC ukázala především proveditelnost a funkčnost celého řešení. Jednoznačně pozitivně se jeví skutečnost, že nástroj plnohodnotně obstojí v praxi, ať již při živé produkci, nebo ve studiu.

Na základě prvních skutečností lze vyhodnotit vlivy a postupy v návrhu i ve výrobě, jejichž úpravou by bylo možné dosáhnout lepších výsledných vlastností korpusu, potažmo celého malého bubnu. Při použití stejné formy jako pro první exemplář je vhodné upravit parametry čerstvé směsi s cílem snížit obsah vzduchu v betonu. Při betonáži je třeba ukládat beton tak, aby bylo eliminováno množství bublin, respektive kaven, na finálním povrchu korpusu. Vzhledem ke konstrukci stávající formy se dále nabízí ověření výrobního procesu a akustických vlastností malého bubnu s odlišnou výškou korpusu.

V případě budoucí výroby v nově zkonstruované formě lze dále pracovat s tloušťkou stěny korpusu. Zeštíhlení stěny by mohlo dodat výslednému zvuku více rezonance a zároveň by celému nástroji ubralo na váze. Úpravou tvaru úložných hran by bylo dále možné prodloužit dobu dozvuku. Pro realizaci zmíněných úprav je však, kromě formy samotné,

⁴ Bicí blanozvučné nástroje (stejně jako velké množství dalších hudebních nástrojů) se vyznačují menší či větší citlivostí na změny vnějších podmínek, jakými jsou hlavně teplota a vlhkost. V důsledku působení těchto vlivů dochází k (převážně) vratným deformacím

jednotlivých částí, nebo i celého nástroje, které se mimo jiné projevují i změnami v ladění nástroje.

nutné vyrobit i další korpus, který poslouží jako pozitiv při výrobě formy.

6. CONCLUSIONS

V tomto článku, který navazuje na předchozí činnost autora, bylo prezentováno praktické využití moderního kompozitu UHPC pro výrobu prvků bicích nástrojů – korpusů pro bubny. Úvodem byl nastíněn postup návrhu korpusu jednoho z představitelů skupiny membranofonů – bicích nástrojů blanozvučných, konkrétně malý buben. Dále byl podrobně popsán postup výroby a sestavení malého bubnu. Podstatnou částí je zhodnocení výsledných vlastností korpusu a malého bubnu, které jsou popsány ve zvláštních oddílech postupně věnovaných fyzikálním a akustickým parametrům.

Myšlenka netradičního uplatnění UHPC povzruje první realizaci svou proveditelností a zároveň přináší rozšíření palety materiálů a zvuků do již tak pestré skupiny hudebních nástrojů, jakou jsou právě bicí. Úpravou vybraných postupů při návrhu a výrobě bude možné dosáhnout ještě lepších výsledných vlastností nástroje a ten by se tím mohl zařadit mezi skupinu hudebních nástrojů profesionální úrovně.

ACKNOWLEDGEMENTS

Teoretické podklady pro prezentované výsledky byly získány za finanční podpory z prostředků studentské grantové soutěže v rámci projektu SGS22/038/OHK1/1T/11.

Rád bych poděkoval Ing. Davidu Čítkovi Ph.D. z Kloknerova ústavu ČVUT za všestrannou pomoc při přípravě a výrobě korpusu pro malý buben.

References

- Pearl Drums Spare Parts Catalog (2016)*. (7. Červenec 2019). Načteno z Pearl: <https://pearldrums.com/support/spare-parts-catalog/2016-spare-parts-catalog.pdf>
- Kalný, M., Komanec, J., Kvasnička, V., Kolísko, J., & Tej, P. (2015). *Metodika 2: Metodika pro navrhování prvků z UHPC*. Praha: Kloknerův ústav ČVUT.
- Prchal, J. (2019). *Inovativní materiály pro výrobu bicích nástrojů a jejich srovnání s materiály konvenčními*. Praha: HAMU.
- Prchal, J. (2019). UHPC jako inovativní materiál pro výrobu bicích nástrojů. 26. *Betonářské dny 2019*, 1-6.
- What You Need to Know About...Bearing Edges*. (Prosinec 2014). Načteno z Modern Drummer: <https://www.moderndrummer.com/2014/12/need-know-bearing-edges/>