

Stavba nosných soustav

Jan Smolík, Pavel Lysák, Jiří Hovorka, Ivan Diviš, Václava Lašová

Abstrakt:

Příspěvek hodnotí aktuální stav využívaných materiálů pro stavbu nosných soustav. Dále je představena aktuální nabídka firem produkujících nekonvenční materiály a materiálové struktury pro stavbu nosných dílů výrobních strojů. Prezentovány jsou nabídky výrobců dílců z cementového betonu, polymerbetonu, granitu i vláknových kompozitů. V závěru jsou představeny některé zajímavé nosné struktury obráběcích strojů.

1 Úvod

Nosné struktury se začínají všeobecně více podřizovat výsledkům výpočtových optimalizací. Často je již možné nalézt na strojích zkosené stojany a to dokonce ve všech třech rovinách, což je požadavek plynoucí z optimální topologické podoby stojanů. Při pozorném sledování je možné rozpoznat, že již mizí dříve velmi významné rozdíly mezi japonskými a obecně asijskými a evropskými nosnými strukturami a komponenty. Především v oblasti užívaných komponentů valivých vedení došlo v posledních letech k velkému sblížení. S ohledem na užívané materiály ve stavbě nosných struktur lze konstatovat, že nedochází k významným změnám. Častěji je však možné vidět náhrady původně litinových pohyblivých stojanů za stojany svařované, bohatě žebrované. Někdy jsou stojany vytvářeny až z překvapivě tenkých ocelových plechů, ale s o to složitější topologickou strukturou.

Pokud sledujeme uplatňování nekonvenčních materiálů ve stavbě nosných dílců, tak je zřejmé, že k žádnému dramatickému rozšiřování u nich nedochází. Pokud uvažujeme o uplatňování méně obvyklých materiálů ve stavbě nosných dílců, než je ocel ve formě svařenců a různé druhy litiny, pak mezi nejdosažitelnější materiály patří polymerní a cementové betony, přírodní žula, nebo kombinace svařenců a odlitků s betonovými výplněmi. Bohužel žádný z uvedených nestandardních materiálů nenabízí významně odlišné hodnoty specifického modulu pružnosti. Lze tedy s jistým zjednodušením konstatovat, že z oceli, litiny, kamene, betonu nebo kombinací těchto materiálů můžeme při shodné hmotnosti dílců vytvořit přibližně stejně tuhé dílce. Pokud budeme hledat potenciální materiál pro stavbu dílců velmi lehkých a tuhých, pak je to ocel v podobě tenkostěnných svařenců. Pokud budeme naopak hledat materiál s větším vnitřním materiálovým tlumením, pak je to litina a betony. Avšak z těchto materiálů je obtížné navrhovat dílce lehké s vysokou statickou tuhostí. Pokud bychom nazírali materiály z hlediska teplotně mechanického, pak se mohou jevit betony jako vhodnější, ale skutečnost, že tyto materiály potřebujeme ve stavbě strojů spojujeme obvykle s ocelovými dílci tento klad částečně smazává. Při kombinacích oceli a betonu je pak otázkou poměr jejich tuhosti, tepelné roztažnosti a problém nestejněho šíření tepla v těchto materiálech, který určuje výsledné teplotně mechanické chování.

Z hlediska volby nejvhodnějšího materiálu pro stavbu nosných dílců nelze paušálně činit žádné rozhodnutí ani doporučení. Vždy je možné se zabývat jen konkrétní náhradou materiálu u konkrétního dílce. Nepochybně lze z oceli, litiny i betonu postavit stroj se stejnými kvalitativními parametry. Významějšími otázkami pro vhodnou volbu stavebního materiálu jsou pak spíše ně fyzikální vlastnosti materiálu otázky zpracovatelnosti, obrobitelnosti, nákladů na výrobu, rychlosti dodávky dílce od zadání do výroby a další technologicko-hospodářské ukazatele.

Výraznější potenciál pro uplatnění lehkých struktur z nekonvenčních materiálů je pak možné hledat u dílců pohyblivých a velmi vyložených. Jedná se zejména o vřeteníky a přičníky. U stojanových těles je pak obvykle třeba hledat kompromis mezi statickou tuhostí a modálními vlastnostmi při co nejmenší hmotnosti.

Nevyčerpaný potenciál ve stavbě nosných struktur stále spočívá v jejich optimálním dimenzování. Dnešní výpočtové metody umožňují hledat optimální rozložení materiálu v určeném hraničním konstrukčním prostoru a umožňují také již ve fázi návrhu stroje analyzovat interakci modálních vlastností skeletu stroje s pohony a jejich regulací. Užitím těchto metod lze skutečně navrhovat skelety strojů s menším instalovaným

množstvím stavebního materiálu, při vysoké statické tuhosti a modálních vlastnostech přiměřených pohonům. Lze se tak vyvarovat zbytečného a škodlivého předimenzování dílců a šetřit suroviny a následně i energii potřebnou pro pohyby stroje.

2 Materiály pro stavbu

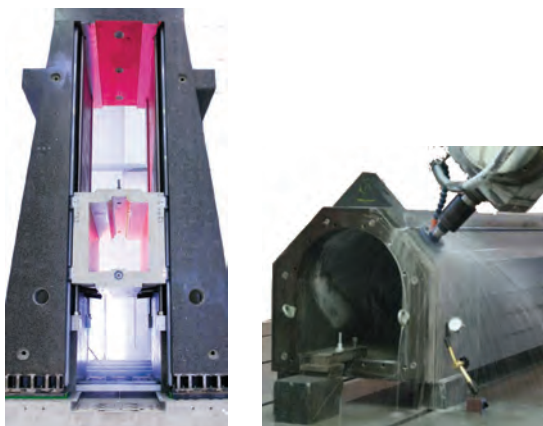
2.1 BÖGL REITZ - HIPERCON

Firma **BÖGL REITZ** představila odlitky na bázi vysokopevnostního cementového betonu HIPERCON vztuženého armováním. Na obr. 1 je vidět stojan horizontální frézky s vřeteníkem. Rozmístění komponent na opracované odlitky se provádí pomocí závitových pouzder vlepených do vrtaných otvorů. Beton je odléván za průběžného střešení ve vakuové atmosféře, tak aby byl minimalizován vzduch obsažený ve struktuře. Společnost TOSHULIN a. s., představila nový karuselový soustruh, jehož hlavní nosné dílce byly vyrobeny z tohoto betonu obr. 2.

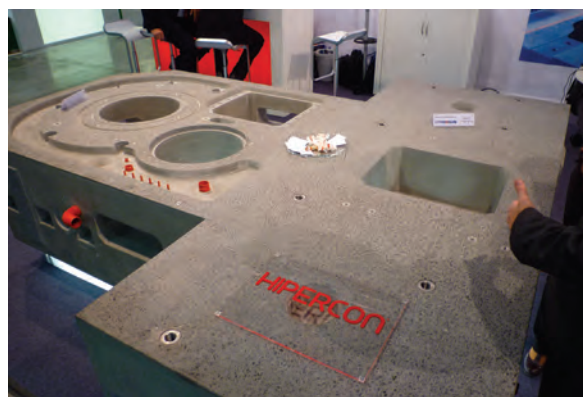
Uváděné přednosti materiálu HIPERCON:

- vysoká pevnost v tlaku;
- nízká tepelná vodivost;
- dobré materiálové tlumení;
- flexibilní změna tvaru konstrukce;
- nízké náklady.

Eigenschaft Norm	HIPERCON®	Stahl	Gusseisen
Dichte kg/dm ³	2,5–2,7	7,85	7,15
Zugfestigkeit N/mm ²	8–10	370–1200	200–800
Druckfestigkeit N/mm ²	100–200	370–1200	600–1200
Längenausdehnungs-koeffizient $\mu\text{m/m}\cdot\text{K}$	10,6	12	11
Wärmeleitfähigkeit W/m·K	1,7	50	50
Spez. Wärmekapazität J/kg·K	900	500	500
E-Modul kN/mm ²	50–60	210	90–140



Obr. 1: BÖGL REITZ - HIPERCON



Obr. 2: Základové lože stroje TOSHULIN



Obr. 3: Stojan stroje TOSHULIN



Obr. 4: Detail stojanu s uložením převodovky náhonu pastorku pro svislý posuv příčniku.



Obr. 5: Detail upevnění svislých vedení na stojanu TOSHULIN



Obr. 6: Detail obrobené (broušené) plochy a vlepených ocelových závitových pouzder pod lineární vedení.

2.2 FRAMAG Hydropol

Společnost FRAMAG se dlouhodobě specializuje na návrh, optimalizaci, výrobu a dodávky skeletů obráběcích strojů. Společnost Framag rozhodně není jen výrobce dílců z jejich patentovaného hybridního materiálu Hydropol, ale je to také významná inženýringová firma, která se snaží pomocí moderních metod simulací a užívání mechatronických modelů (zahrnujících pohony a regulaci) hledat skutečně optimální konstrukční řešení rámců. Na EMO2009 společnost Framag představila nové hybridní materiály Hydropol Light a Hydropol Superlight. Jejich základní materiál Hydropol je založen na kombinaci ocelového svařence, vyplněného polymerbetonem. Takto vytvořené dílce dokáží vykazovat dobré hodnoty statické tuhosti i tlumení hlavních strukturálních vlastních tvarů kmitů, ale vykazují vysokou hmotnost. Proto se většinou nedal Hydropol užít pro pohyblivé dílce. Na základě tlaku zákazníků a trhu je třeba nabídnout adekvátní řešení také pro pohyblivé dílce stojanů a příčniců a dílce vřeteníků, které jsou obvykle nejvíce vyložené. U těchto pohyblivých dílců je nezbytné řešit problém hmotnosti a minimalizovat ji. Společnost Framag proto přišla s nabídkou hybridních materiálů založených opět na ocelových svařencích a výplni, ovšem výplň je rozdílná oproti Hydropolu a má dva stupně nižší hustoty než u základního hydropolu. Snížení hustoty je dosaženo změnou plniva epoxidové matrice, ale přesnější údaje nebyla společnost ochotna uvést. Materiál Hydropol je nyní nabízen jako řešení vhodné pro nepohyblivé dílce, základny, lože, materiál Hydropol Light je pak určen pro stojany a příčnice a materiál Hydropol SuperLight je určen pro vřeteníky a dílce s nároky na nejnižší hmotnost.



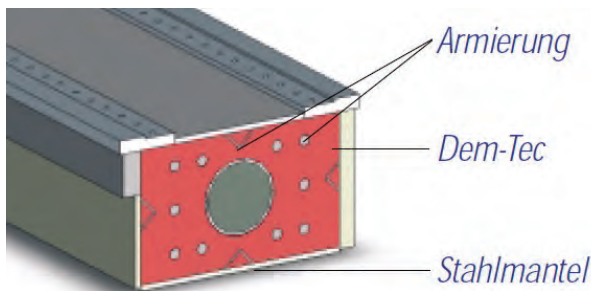
Obr. 7: Pohybová skupina reprezentující užití jednotlivých druhů materiálu Hydropol



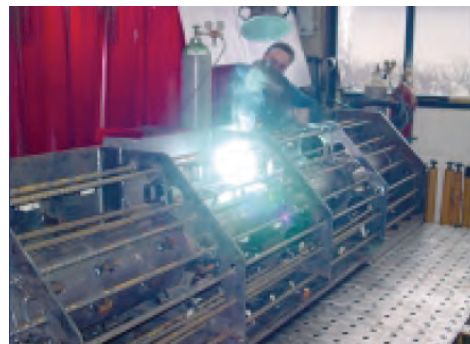
Obr. 8: Demonstrační těleso smykadla z materiálu Hydropol-Superlight a stojanu z materiálu Hydropol-Light

2.3 DEMMELEDER DemTec

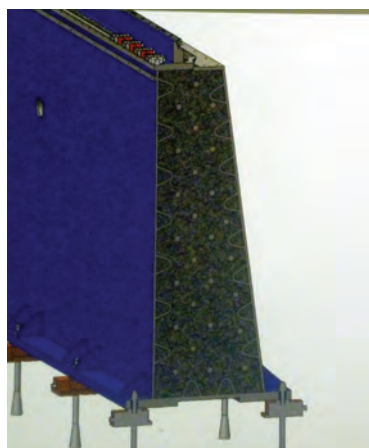
Společnost Demmeler je v ČR známá spíše jako výrobce a velkých přídavných otočných stolů. Mezi její tradiční produkty však patří také výroba nosných dílců obráběcích strojů. Jejich základním stavebním materiálem je materiál obchodně nazývaný DemTec. Nosné díly jsou tvořeny obdobně jako Hydropol vnější svařovanou strukturou s žebrováním a výplní. Jako výplň však Demmeler užívá cementový beton s armováním. Pro armování je užito jak hlavních výztužných armovacích tyčí, která propůjčují tělesu vyšší tuhost, tak i drobných armovacích prvků kotvených k vnitřním stěnám svařenců. Jako materiál výplně je užit tzv. drátkobeton, tedy beton s rozptýlenými drobnými armovacími drátky.



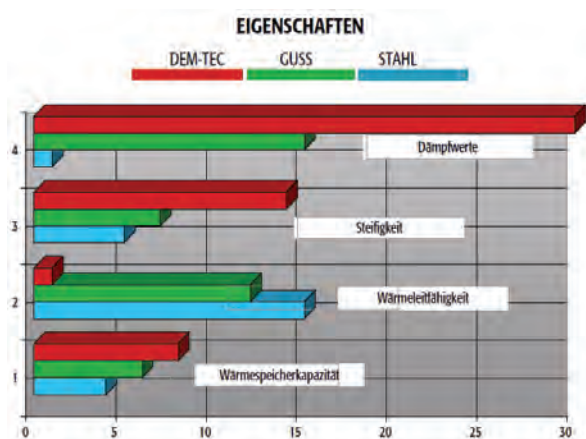
Obr. 9: Základní koncepční schéma materiálové struktury DemTec firma Demmeler.



Obr. 10: Příklad přípravy svařence struktury DemTec. Patrně jsou vnitřní podélné armovací výztuže.



Obr. 11: Příklad užití materiálové struktury DemTec pro vytvoření nosného tělesa bočnice portálového stroje.



Obr. 12: Srovnání materiálové struktury DemTec s litinou a ocelí dle prezentačních prospektů Demmeler

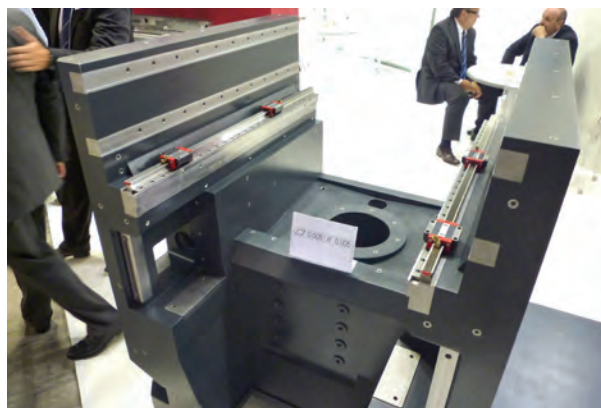
2.4 SCHNEEBERGER Mineralguss

Německá společnost Schneeberger není jen známým výrobcem přesné lineární techniky, ale již řadu let nabízí dodávku nosných dílců z polymerbetonu a také dodávku celých skeletů strojů. Její polymerbeton nazývá obchodně Mineralguss (dříve Rhenocast) a není bez zajímavosti, že moderní slévárna Schneeberger již několik let úspěšně funguje v ČR. Odlévání polymerbetonu Schneeberger probíhá nejčastěji do kovových forem, často duralových s ocelovou výztuží. Do vnitřní části formy jsou osazeny veškeré inserty a to jak závitová pouzdra, tak i ocelové lišty (většinou pod lineární vedení), nebo ocelové desky pro ustavování strojů, transport nebo spojování s dalšími dílci. Nejprve je forma sestavena, do vnitřní části je nástřikem aplikován separační vosk a na něj vnější barva dílce. Následně je do formy nalévána směs epoxidu a různých hrubých frakcí kamene. Kombinace jednotlivých frakcí kamene je podřízena aktuální odlévané části dílce a během odlévání se mění. Litina ve formě je následně stříšána na velkých vibračních základových deskách. Po vytvrzení je provedeno odformování a dílec je připraven pro drobné opravy a obrábění funkčních ploch, nebo slepování s dalšími dílci. Stejně jako u cementových betonů dochází k lití za studena a do vnitřní struktury dílce je tedy možné s výhodou zabudovat rozvody infrastruktury médií nebo průchodky pro kabelové svazky. Pro odlehčení dílců je možné do vnitřních prostor zalít polystyrenová jádra, která v dílci zůstávají a zajistí při lití potřebný vymezený odlehčený prostor. V dosažitelných přesnostech obrobení hlavních vodicích ploch, ocelových insertů, je možné dosáhnout stejných přesností, jako i dílců ocelových nebo litinových. Na EMO bylo prezentováno základové lože stroje DMG Ultrasonic 20 linear s prezentovanými hodnotami rovinnosti

a rovnoběžnosti do 5 μ m. V roce 2009 se dostala společnost Schneeberger na 2. místo ve světové produkci výrobků z minerální litiny pro obor výrobní techniky. Na 1. místě se tradičně drží konkurenční společnost Epucet. Nutno dodat že nabídka společnosti EPUCRET je exklusivní v tom, že dokáže nabídnout přesné lití polymerbetonu nahotovo. Geometrické přesnosti souvisejících ploch, které dávají stroji jeho geometrickou přesnost dokáže společnost EPUCRET odlévat nahotovo bez butnosti následného obrábění například ploch pod vedení, nebo ploch spojovacích rovin dílců.



Obr. 13: Lože DMG US 20 linear



Obr. 14: Detail lože DMG US 20 linear na stánku firmy Schneeberger



Obr. 15: Detail polmerbetonového odlitku s integrovanou ocelovou lištou pod lineární vedení a s osazenou kolejničí lineárního vedení.



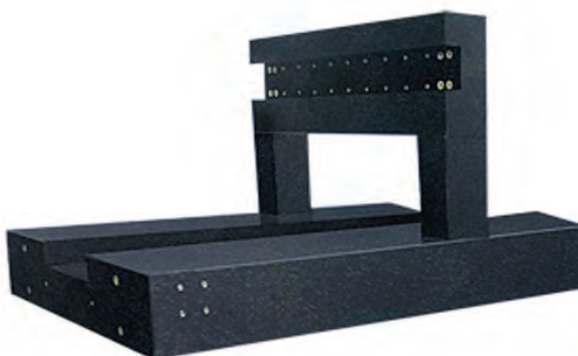
Obr. 16: detail dilatačních spár zalitého ocelového profilu, který je základem pro upevnění kolejnice lin. vedení. Řešení je vynucené rozdílnou teplotní roztažností a teplotně mechanickými vlastnostmi oceli a polymerbetonu.

2.5 Jinan Dongxing Granite Precision Measure Co., Ltd.

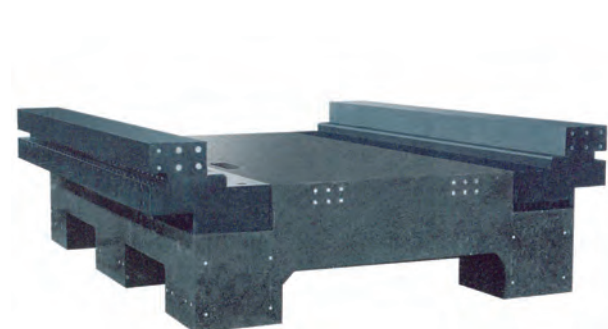
Není úplně jednoduché identifikovat správný název čínské firmy prezentující na EMO granitové a polymerbetonové nosné dílce. Uvedený název je oficiálním pro registraci na EMO, ale v dalších materiálech nalezneme také názva Jinan East Star Precision Measure Co., Ltd, nebo také Eaststar granite precision measure, EAST STAR Marble & Granite Factory, nebo DongXing Group. At' již se společnost jmenuje jakkoli, na EMO vystavovala nabídku polymerbetonových odlitků a žulových dílců. Kromě produktů určených pro stavbu měřících strojů vystavovala také hybridní lože (obr. 19), jehož základ tvoří polymerbeton a plochy k připevnění kolejnic lineárních vedení jsou vyrobeny z přírodní žuly. Spojení mezi polymerbetonem a granitem je provedeno pomocí insertů a šroubů. Dalším zajímavým produktem této společnosti je patentovaná deska z umělého granitu s vloženou hliníkovou voštinou (obr. 20). Při takové kombinaci dosahuje tlumení desky až 10ti násobku oproti desce ocelové. Rozměry je možno upravit v rozmezí 300x300mm do 8000x3000mm. Možný rozsah tloušťek takovýchto desek se nepodařilo zjistit.



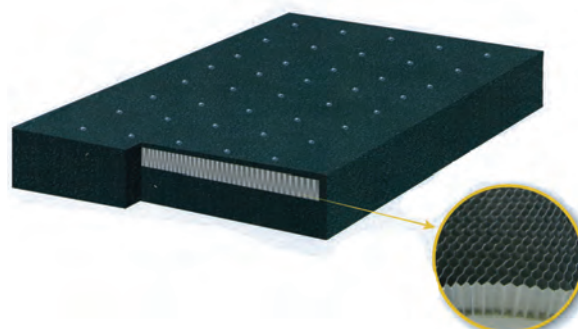
Obr. 17: Polymerbetonové odlitky základních loží obráběcích strojů



Obr. 18: Nosná struktura měřicího stroje z přírodní žuly.



Obr. 19: Hybridní lože - polymerbeton + přírodní granit



Obr. 20: Granitová deska s voštinou - sendvičová struktura

2.6 Jinan Xinlei Precision Machinery Co.,Ltd.

Další vystavující čínskou společností nabízející dílce z přírodní žuly byla firma Jinan Xinlei Precision Machinery Co.,Ltd. Dílce jsou opracovávány řezáním a broušením a spojování je prováděno téměř výhradně pomocí kovových vlepených insertů se závitovým pouzdrem. Podle prezentovaných příkladů realizovaných zakázek se jeví společnost jako poměrně zkušená v daném oboru a bylo by jistě zajímavé získat přesnější informace o jejich technologických možnostech specifických pro stavbu nosných soustav obráběcích strojů.



Obr. 21: Příklad tříosé nosné struktury z přírodní žuly



Obr. 22: Příklad žulové nosné struktury části obráběcího stroje, pravděpodobně soustruhu.

2.7 Ocelové svařence

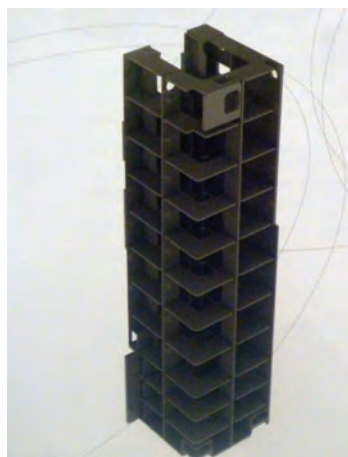
Ocelové svařence patří mezi standardní druhy základních těles nosných struktur. Na EMO se žádný z výrobců, kteří užívají ocelové svařence touto skutečností přímo neprezentoval. Vyjímkou byla pouze prezentace italské firmy Benazzato S.r.l. a prezentace svařovaných nosných struktur frézovacích strojů firmy Baykal.



Obr. 23: Příklad nosné struktury jednoho z portálových strojů firmy Benazzato S.r.l.



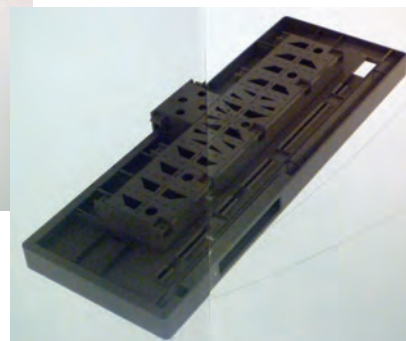
Obr. 24: Prezentovaná svařovaná nosná struktura portálu firmy Benazzato S.r.l.



Obr. 25: Bustě žebrovaný svařovaný vřeteník firma Byakal



Obr. 26: Základové lože vertikálního centra firmy Baykal. Pohled je na spodní stranu před zavažením a po zavažení spodním krycím víkem.

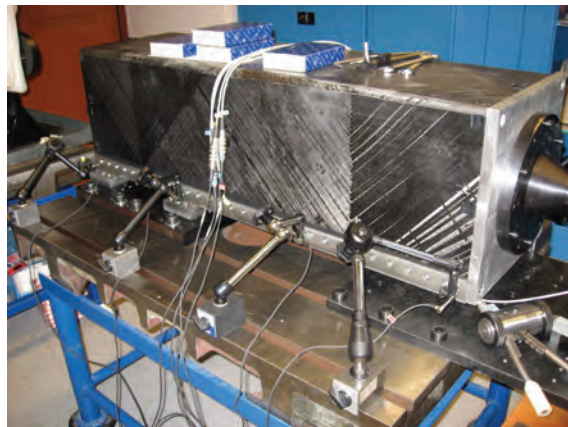


2.8 Vláknové kompozity

Ucelenou nabídku výroby nosných dílců pro obráběcí stroje z vláknových kompozitů představovala na EMO pouze společnost Compotech. Společnost Compotech patří mezi největší zpracovatele vysokomodulových uhlíkových vláken v České Republice a mezi jednoho z největších producentů Hi-Tech kompozitních materiálů v ČR. Zhruba před 4-mi lety začala společnost zahajovat svoji spolupráci s oborem obráběcích strojů a to především úspěšnou spoluprací s fy Tajmac-ZPS, a. s. v oblasti vývoje koaxiálních náhonových hřídelí pro vícevřetenové soustružnické automaty a dále pak výzkumně-vývojovou spoluprací s Výzkumným centrem VCSVTT při vývoji realizaci a testování plně kompozitových vřeteníků. Vzhledem k velké poptávce po nosných dílcích obráběcích strojů s nižší hmotností, vším tlumením a výrazně lepšími modálními parametry se společnost rozhodla vystavovat svoji nabídku řešení pro obor obráběcích strojů na EMO. Je třeba s respektem říci, že nabídka společnosti Compotech pro oblast obráběcích strojů je velmi ucelená a promyšlená a schopnost hledat možné provedení nosných dílců z uhlíkových kompozitů je velmi vysoká. Lze s jistotou předpokládat, že pokročilé kompozitní materiály s unikátními vlastnostmi si budou v oblasti obráběcích strojů postupně vytvářet pevnou pozici a je potěšující že právě česká firma přichází na světový trh s takovouto nabídkou hi-tech řešení.



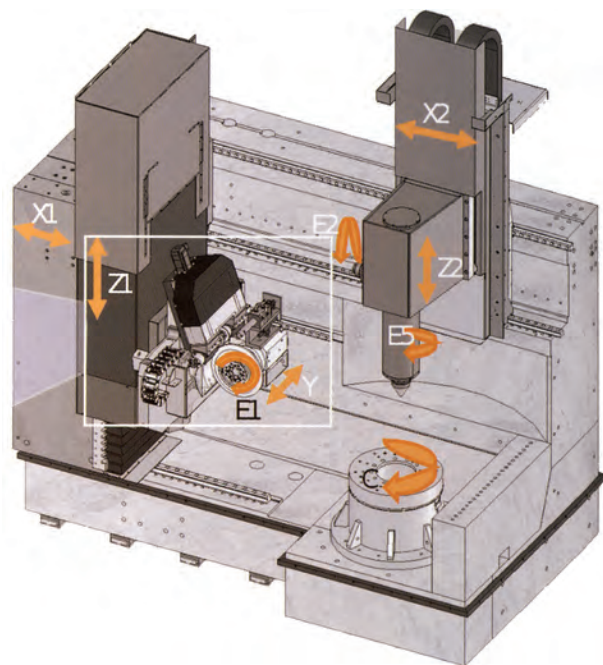
Obr. 27: Stánek české společnosti Compotech. V přední části stánku jsou vystaveny kompozitní díly z ultravysokomodulových uhlíkových vláken.



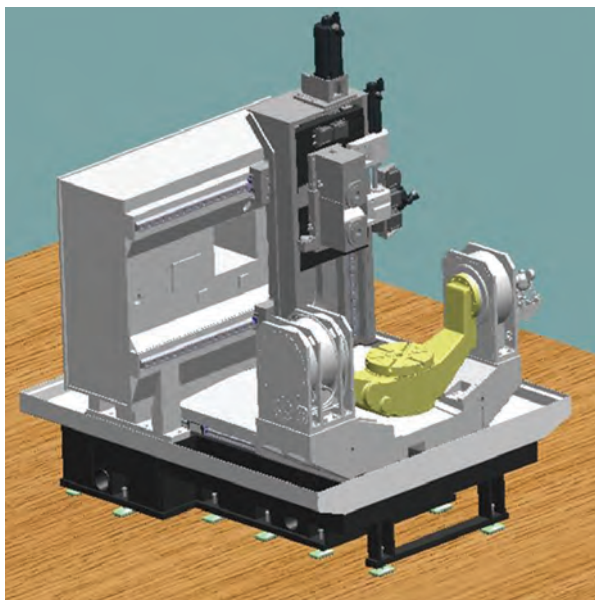
Obr. 28: Celokompozitový vřeteník vyrobený společností Compotech při měření statické tuhosti v laboratoři VCSVTT.

3 Nosné struktury

Přestože stavbě nosných soustav vládne ocel a litina, bylo na veletrhu možno vidět prezentace několika strojů postavených na základě jiných materiálů. Mezi časté zástupce strojů užívajících granit, polymerbeton nebo hybridní struktury jako stavební materiál nosné struktury patří brusky. Například bruska Synchro Fine XL pro kombinované technologie broušení od společnosti DVS Práheva (obr. 29) má celé lože vyrobeno z přírodní žuly. Stejně tak je z žuly vyroben pohyblivý stojan osy X1. Ostatní pohyblivé části brusky jsou vyrobeny z šedé litiny nebo z oceli. Objevují se však i jiné kombinace materiálů. Např. brousící a frézovací centrum Meccanodora Uros 30 CNC má hlavní nosnou strukturu vyrobenou jako svařovaný ocelový rám. Pro zlepšení tlumících vlastností je lože vyplněno polymerbetonem (viz obr. 30.).

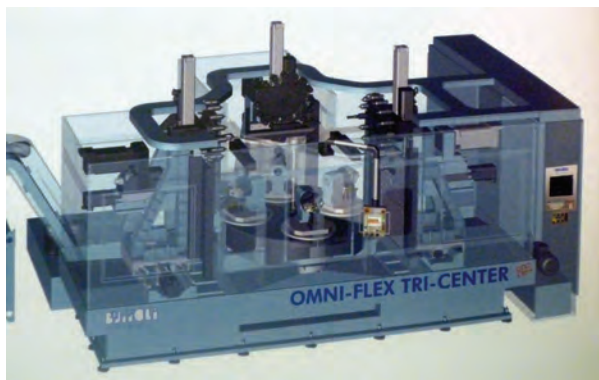


Obr. 29: Struktura DVS Práheva SynchroFine XL

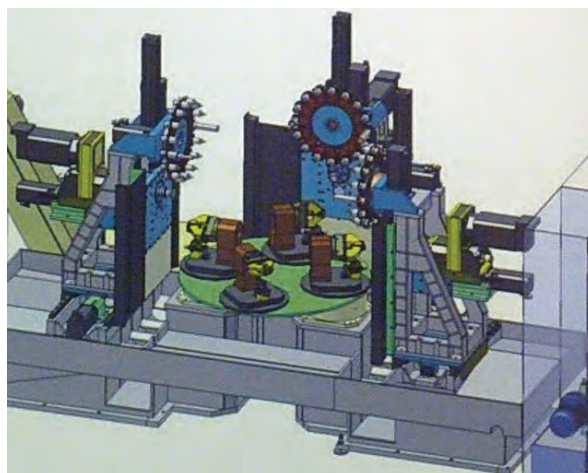


Obr. 30: Meccanodora Uros 30 CNC

V oblasti nosných struktur pak mohla zaujmout nosná struktura stroje Omniflex Tri-center společnosti Buffoli. Stojanová tělesa jsou vytvořena jako ocelové svařence s velmi jednoduchou topologií. Tělesa jsou velmi lehká a jsou vytvořena téměř jako prutová soustava. Toto provedení velmi lehkých nosných dílců se může stát inspirací pro úvahy nad odlehčováním stávajících, často velmi předimenzovaných nosných dílů obráběcích strojů. Je patrné, že uvedený příklad transferového stroje pro hromadnou výrobu není příkladem přesného stroje, avšak provedená jednoduchá konstrukce může být návodem pro další úvahy i při stavbě přesných strojů.

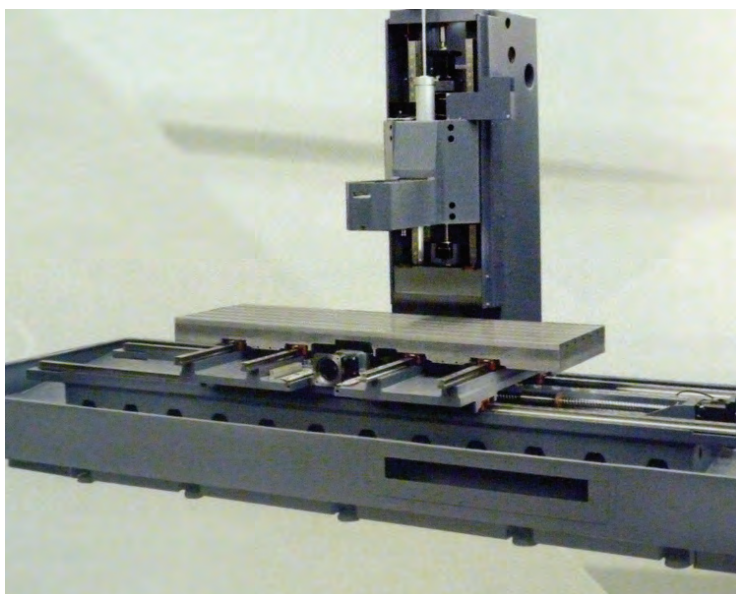


Obr. 31: Celkový pohled na rotační trasferový obráběcí stroj Omni-Flex Tri-Center společnosti Buffoli s třemi pracovními pozicemi.



Obr. 32: Na tomto pohledu je patrná velmi lehká a subtilní konstrukce svařovaných stojanů jednotlivých pracovních vřetenových jednotek..

Další inspirací může být také velmi nízká stavba křížových saní a stolové části vertikálního frézovacího centra turecké společnosti Baykal. Jak je patrné z následujícího obrázku, křížové saně jsou rozděleny tak, aby se mezi ně mohl vejít pohon příčné osy Y. Tato koncepce pak umožňuje extrémně nízkou stavbu křížových saní a z hlediska minimalizace klopných momentů je příkladná. Dalším zajímavým uspořádáním je pohon osy Z stroje PX společnosti GOGLIO. Náhon příčnicku je realizován velmi jednoduše jedním středovým kuličkovým šroubem.



Obr. 33: Velmi nízká stavba stolové skupiny díky děleným křížovým saním s pohonem uprostřed.



Obr. 34: Příklad jednoduchého středového pohonu příčnicku vertikálního centra.

4 Závěr

Ve světě výrobních strojů jsou stále za nekonvenční materiály považovány materiály jiné než železné, tj. škála plastů, betonů, minerálních litin a kompozitů. Tyto alternativní materiály mohou mít vhodné vlastnosti pro stavbu konkrétních nosných dílců, avšak jejich nasazení není možné považovat paušálně za výhodné a vhodné. Je nezbytné vést úvahu nad dosažitelnými výhodami při užití nekonvenčních materiálů současně se zvažováním negativ a technologicko-hospodářských hledisek. Cementové betony, polymerní betony a přírodní žula jsou z oblasti nekonvenčních materiálů vhodných pro stavbu nosných dílů strojů evidentně nejčastějším řešením avšak na EMO 2009 jsme nepozorovali masový nástup aplikací z těchto materiálů.

Využití nosných dílů z vláknových kompozitů je i přes jejich potenciálně vynikající vlastností stále spíše hudbou budoucnosti. Důvodem je dosavadní vyšší cena, speciální nároky na návrh i výrobu a také málo zkušeností v oboru. Jako jeden ze zřejmých signálů zájmu o vláknové kompozity ze strany výrobců strojů lze hodnotit stále obležený stánek sušické firmy CompoTech Plus, která vyrábí vláknové kompozity zhotovené technologií přesného navíjení. Podle projevovaného zájmu lze v budoucnu očekávat více reálných aplikací i z tohoto nekonvenčního materiálu.