



Revoluce ve výrobě automobilů: Výroba BMW i.

Obsah.

- 1. Výrobní koncept BMW i: moduly Life a Drive.**
- 2. Úsvit nové éry – automobily z uhlíkových kompozitů.**

Výroba uhlíkových vláken za pomoci energie z vodní elektrárny/Moses Lake, USA.

Zpracování do funkčních celků ve Wackersdorfu.

Zpracování na komponenty z uhlíkových kompozitů v Landshutu a Lipsku.

Nové přesné výrobní procesy uhlíkových kompozitů pro výrobu karoserií.

- 3. Lehký a pevný: vnější plášť z termoplastů.**
- 4. Modul Drive: nosná struktura, vysokonapěťový akumulátor a elektromotor, vyráběné v bavorských továrnách.**

Vysokonapěťový akumulátor.

Elektrická hnací soustava.

- 5. Paralelní procesy: montáž.**

Finální montáž.

- 6. Odpovědná výroba v Lipsku.**



1. Výrobní koncept BMW i: moduly Life a Drive:

BMW i3 je automobilem nové epochy odpovědné individuální dopravy v městském prostředí. BMW i3 je současně prvním prémiovým elektrickým vozem, který se vyznačuje průkopnickou architekturou a využitím nejmodernějších lehkých materiálů a pokrokových výrobních metod. V tomto ohledu hraje u BMW Group prvotní roli především odpovědnost k životnímu prostředí. Cílem vývoje bylo omezit dopad na životní prostředí v oblastech spotřeby energie a vody, stejně tak jako produkce emisí a odpadu. Tento přístup platí na všech stupních výrobního řetězce vozů BMW i, tedy včetně továrny v Moses Lake ve státě Washington, USA (výroba uhlíkových vláken) a ve Wackersdorfu (pláty z uhlíkových vláken). Oba tyto výrobní závody, vystupující pod hlavičkou SGL Automotive Carbon Fibers (ACF), provozuje BMW Group v rámci společného podniku se společností SGL Group. Ve výrobním řetězci BMW i je doplňují továrny Dingolfing, Landshut a Lipsko.

Pokroková koncepce BMW i3 je tvořena dvojicí hlavních elementů – modulů. Hliníkový modul Drive nese hnací ústrojí, podvozek, akumulátor a deformační zóny. Modul Life je prostor pro posádku, jehož skořepina je vyrobena z uhlíkových kompozitů, označovaných též zkratkou CFRP (Carbon-Fibre-Reinforced Plastic). Použití uhlíkových kompozitů v daném rozsahu znamenalo vyvinout takové výrobní postupy, které zkrátí jejich výrobu na polovinu běžné doby. Celý výrobní proces je méně náročný na investice v podobě konvenčních lisoven, které nejsou potřeba. Moduly Life i Drive se vyrábějí bok po boku. Výroba dílů z uhlíkových kompozitů v množství potřebném pro BMW i nemá v automobilovém průmyslu obdoby a BMW Group v této oblasti hraje vedoucí úlohu.



2. Úsvit nové éry – automobily z uhlíkových kompozitů.

Rozsáhlý důraz na minimalizaci hmotnosti je obzvláště důležitý v souvislosti s elektřinou poháněnými automobily. Kromě kapacity akumulátoru je právě hmotnost významným prvkem, který ovlivňuje dojezd: čím lehčí automobil, tím delší dojezd. Z důvodu kompenzace vysoké hmotnosti akumulátoru se BMW i rozhodlo ve svých vozech používat pokrokové technologie a materiály snižující hmotnost. Modul Life je proto primárně vyroben z uhlíkových kompozitů. Tento high-tech materiál vyrábí společný podnik SGL Automotive Carbon Fibers (SGL ACF).

Výroba uhlíkových vláken za pomoci energie z vodní elektrárny/Moses Lake, USA.

V továrně SGL ACF, situované v americkém Moses Lake, se vyrábějí uhlíková vlákna z termoplastového prekurzoru na bázi polyakrylonitrilu. V komplexním několikastupňovém procesu dochází k postupnému odstraňování elementů, až na konci zůstane pouze uhlík s pevnou krystalickou strukturou. Toto vlákno je silné pouhých sedm mikronů (0,007 mm). Jen pro srovnání: lidský vlas má průměr 50 mikronů. Pro použití v automobilovém průmyslu jsou tato vlákna spojována po přibližně 50 000 kusech do velkých svazků, a jsou tak připravena pro další použití.

Veškerá energie potřebná k výrobě uhlíkových vláken v Moses Lake je získávána trvale udržitelným způsobem v místní vodní elektrárně, takže se jedná o provoz s nulovými emisemi CO₂. Ultramoderní závod ve státě Washington stanovuje měřítka rovněž v oblasti energetické účinnosti.

V Moses Lake se ultralehká vlákna vyrábějí od konce roku 2011. Dvojice výrobních linek má kapacitu 3000 tun materiálu. Obě mateřské společnosti, BMW Group a SGL Group, dosud investovaly do výrobního závodu v Moses Lake přibližně 72 milionů EUR a vytvořily 80 nových pracovních míst.

Zpracování do funkčních celků ve Wackersdorfu.

Ve druhém výrobním závodě společného podniku, v inovačním parku Wackersdorf, jsou svazky vláken vyráběné v Moses Lake v průmyslovém měřítku dále zpracovávány na lehkou tkaninu. Po investici 20 milionů EUR a vytvoření přibližně 150 nových pracovních míst je dnes závod ve Wackersdorfu schopen vyrábět několik tisíc tun tkaniny z uhlíkových vláken.



Textilie z uhlíkových vláken se vyznačují různým uspořádáním, stejně tak jako vrstvením podle zamýšleného způsobu použití. Následně je vystřížen potřebný tvar. Tyto polotovary jsou výchozími prvky pro výrobu dílů z uhlíkových kompozitů v továrnách BMW Landshut a Lipsko. Vzniklý odpad se recykluje přímo v továrně Wackersdorf a znovu se používá pro výrobu modelů BMW i. V současnosti pochází přibližně 10 procent uhlíkových vláken použitých v BMW i3 z procesu recyklace.

Zpracování do podoby dílů z uhlíkových kompozitů v Landshutu a Lipsku.

Tkaniny z uhlíkových vláken dodávané z Wackersdorfu se dále zpracovávají na karosářské díly z uhlíkových kompozitů vozů BMW i3 a BMW i8 v lisovnách továren BMW v Landshutu a Lipsku. V obou je instalována trojice výrobních linek na výrobu uhlíkových kompozitů.

V Landshutu se specialistům BMW Group podařilo během více než 10 let zdokonalit a zautomatizovat proces výroby komponentů z uhlíkových vláken do té míry, že je dnes možná ekonomická a velmi kvalitní průmyslová výroba s vysokou úrovní stability celého procesu. V průběhu tohoto vývoje se podařilo snížit cenu dílů vyrobených z uhlíkových kompozitů o přibližně 50 procent.

Aby textilie lépe udržela požadovaný trojrozměrný tvar, dochází k jejímu zahřátí a vytvarování. Větší díly jsou tvořené tak, že se spojí jednotlivé menší části. Díky tomu lze z uhlíkových kompozitů vyrábět i extrémně velké díly, které by bylo možné z hliníku nebo oceli vytvořit jen obtížně, anebo s výrazně většími náklady. Spojené a předtvarované díly jsou nyní připraveny pro další část výrobního postupu: vysokotlaké vstřikování pryskyřice RTM (Resin Transfer Moulding). Pryskyřice v kapalně formě se v tomto procesu pod vysokým tlakem vstřikuje do formy s textilií. Pryskyřice se přilepí na uhlíková vlákna a v následném kroku dojde k vytvrzení celého dílu, které mu zajistí výslednou pevnost, jež je základem jeho mimořádných vlastností.

Celá výroba dílů z uhlíkových kompozitů se musí provádět na základě přesně daných výrobních postupů. Závisí na správném čase vstřikování, tlaku i teplotě. Důležité totiž je, aby se pryskyřice s vytvrzovacím materiálem dokonale promísila. Nově vyvinutý výrobní proces eliminuje konvenční vytvrzování v autoklávech, které je velmi časově náročné.

Pro sériovou výrobu BMW i3 bylo potřeba maximálně zkrátit čas potřebný k vytvrzení dílů z uhlíkových kompozitů. Proces vytvrzování uhlíkového kompozitu začíná již pouhých 90 sekund po aplikaci vytvrzovacího



materiálu. Již o hodinu a půl později je díl zcela vytvrzený a má svoji finální pevnost. Tento výsledek znamená 10krát rychlejší vytvrzení než v konvenčních procesech. BMW vyvinulo doplňkový teplotní proces, který umožní další zkrácení vytvrzovacího procesu pod úroveň 10 minut. Jeho podstatou je zahřátí specifických bodů, které budou následně lepeny.

Výrobu dílů z uhlíkových kompozitů nelze srovnávat s výrobou běžných ocelových součástí. Industrializaci výroby uhlíkových kompozitů se dosáhlo jejich značného zlevnění a umožnilo se jejich použití v mnohem větším měřítku, které bylo dosud v automobilovém průmyslu nemyslitelné.

Součástí jednotlivých dílů z uhlíkových kompozitů je již od počátku celá řada strukturálních prvků. Například kompletní boční část modelu Life BMW i3 je jeden celek, který se vyrábí s vysokou mírou automatizace. Mezi další pracovní úkony patří začištění hran, případně vytvoření dalších potřebných otvorů. K těmto pracím se používá tlakový vodní paprsek. Povrchy, které se budou lepit, jsou pro zdrsnění a lepší přilnutí lepidla opískovány. Konvenční boční část automobilu z oceli by oproti tomu musela být vyrobena postupně z několika vnitřních a vnějších komponentů.

Nové přesné výrobní procesy uhlíkových kompozitů pro výrobu karoserií.

Jednotlivé díly z uhlíkových kompozitů se slepují v nové karosárně v Lipsku. Právě zde dostává modul Life svůj tvar. Vysoká míra geometrické integrace zaručuje, že ve srovnání s ocelovou konstrukcí je potřeba pouhá třetina dílů, z nichž se celek staví. Základní struktura modulu Life je tvořena přibližně 150 komponenty z uhlíkových kompozitů.

Při výrobě karoserie z uhlíkových kompozitů není slyšet žádný hluk od nýtování nebo sváření, nejsou zřejmé ani žádné odlétající jiskry. Pro výrobu se používají výhradně nejnovější technologie lepení, které jsou 100procentně automatizované. Proces lepení dílů z uhlíkových kompozitů je další unikátní technologií vyvinutou BMW. Při lepení se totiž striktně dodržují předem dané šířky spár, jež se vyplňují lepidlem. Tím se dosahuje maximální pevnosti spojů. V každém BMW i3 je celkově 160 metrů lepených spojů.



3. Lehký a pevný: vnější plášť z termoplastů.

BMW i3 je prvním vozem BMW, který má všechny povrchové díly vyrobené z termoplastu. Výjimku představuje pouze střecha, jež je vytvořena z recyklovaných uhlíkových kompozitů. Hmotnost těchto dílů je ve srovnání s díly ocelovými přibližně poloviční. Plasty navíc nepodléhají korozi, při výrobě vyžadují méně energie a současně jsou odolnější při malých poškozeních. Na termoplasty se používá přibližně čtvrtina materiálu z recyklovaných nebo obnovitelných zdrojů.

Všechny povrchové díly BMW i3 vznikají v továrně BMW v Landshutu. Stejně jako je tomu u předních a zadních nárazníků konvenčních vozů BMW, i v tomto případě se na výrobu používá jedna ze tří různých metod vstřikování do forem. Tyto tři metody jsou následující: standardní proces; „TWIN“, kdy se vstřikováním samostatně vyrábí vnější plášť a vnitřní struktura, které jsou následně slepeny v jeden celek; a třetí je „lepení pomocí vstřikování do formy“, při němž se do jedné formy zároveň vstřikuje vnější plášť i struktura a k jejich spojení dochází v jediném automatizovaném procesu.

Lakování povrchu dodává těmto dílům konečný lesk a současně je chrání před vnějšími vlivy, například v podobě odlétajících kamínků nebo slunečního záření. Lakovna v lipské továrně používá výhradně suché sprejování s nulovou odpadní vodou. Oproti konvenčním metodám se vyznačuje pouze čtvrtinovou spotřebou energie. Spotřeba vody se snižuje o 70 procent i díky tomu, že není třeba namáčením barvit celou karoserii. U BMW i3 se samostatně lakují nárazníky, boční panely, před a zad, což šetří zdroje. Oproti lakování pomocí namáčení vozu do lázně dochází k úspoře hmotnosti přibližně o 10 kg. V lipské továrně pracuje na vnějších panelech karoserie BMW i3 přibližně 300 lidí.



4. Modul Drive: nosná struktura, vysokonapěťový akumulátor a elektromotor, vyráběné v bavorských továrnách.

Základní nosná struktura BMW i3 – modul Drive – vzniká v továrně BMW Dingolfing. Je tvořen kataforézně lakovanými hliníkovými profily a odlitky. Koncepte s nosným rámem, na němž je umístěna karoserie, je v souvislosti s akumulátorem ideálním řešením z hlediska rozložení hmotnosti a nízkého umístění těžiště, které jsou základem jízdní dynamiky. Použití hliníku pro tuto strukturu je výhodné i z pohledu nízké hmotnosti a současně i výjimečných vlastností v případě nárazu.

Hlavní nosná struktura sestává z přibližně 160 dílů, které spojuje více než 19 metrů svarů. Odlitky pro tuto strukturu pocházejí ze slévárny BMW v Landshutu. V továrně Dingolfing pracuje na plně automatizované výrobě nosné struktury přibližně 120 pracovníků. Pro tuto výrobu se v hojné míře uplatňují značné zkušenosti s produkcí hliníkových komponentů, mezi které již dlouhou dobu patří například hliníkové díly podvozku.

Vysokonapěťový akumulátor.

Dalším významným komponentem modulu Drive je taktéž v Dingolfingu vyráběný vysokonapěťový akumulátor. Lithium-iontové články dodávané externí společnostmi se nejdříve přezkouší z hlediska funkčnosti. Následně jsou po plazmovém vyčištění s pomocí 20 robotů spojeny do jednotlivých modulů, které se zalepí a zavaří.

Vznik akumulátoru je rozčleněn na 400 pracovních operací. Vnější plášť akumulátoru nejenže chrání lithium-iontové články, ale současně přispívá ke zvýšení tuhosti automobilu jako celku. Výroba akumulátoru začíná rozdělením jednotlivých článků do odpovídajících modulů. Tyto moduly se postupně vkládají do hliníkových držáků a následně dochází k jejich ručnímu zapojování. Nakonec dojde k osazení horním a spodním ochranným krytem a akumulátor odchází k testům. Rozčlenění akumulátoru na moduly umožňuje v případě poruchy tyto moduly vyměnit.

Zcela nová, vysoce automatizovaná výrobní hala zabírá plochu více než 2000 metrů čtverečních a byla v Dingolfingu postavena právě kvůli výrobě akumulátorů pro modely BMW i. Na stejném místě se vyrábějí také



akumulátory pro hybridní modely řad 3, 5 a 7. Pracuje zde přibližně 100 důkladně proškolených odborníků.

Elektrická hnací soustava.

BMW šlo při vývoji hnacích ústrojí vždy svojí vlastní cestou. I proto padlo rozhodnutí, že vývoj elektromotoru s výkonem 125 kW pro BMW i3 proběhne vlastními silami. Jeho výroba byla svěřena továrně BMW Landshut. Mezi hlavní součásti motoru patří vnitřní schránka, stator a rotor. Stator, který je vnitřním srdcem motoru, je tvořen přibližně dvěma kilometry měděného drátu. Na rozdíl od ostatních elektromotorů dané výkonnostní třídy je motor BMW i3 velmi kompaktní a současně lehký. To je výsledkem speciálního vinutí měděného drátu. Předtím, než se do vnitřní schránky motoru vloží rotor, je potažen tenkou vrstvou pryskyřice. Aby bylo možné při finální montáži všechny tři celky spojit, je třeba nejdříve vnitřní schránku zahřát na teplotu přibližně 150 stupňů Celsia.



5. Paralelní procesy: montáž.

Na rozdíl od automobilů se samonosnou karoserií je architektura BMW i3 tvořena horizontálně rozdělenými celky – nezávislými moduly. Továrna v Lipsku je vůbec prvním výrobním závodem, který má dvě nezávislé, paralelní výrobní linky – jednu pro modul Life a druhou pro Drive.

Během výroby modulu Drive je hliníkové šasi doplněno akumulátorem a hnacím ústrojím. Nejdříve ze všeho je vysokonapěťový akumulátor, vážící 230 kg, instalován do podlahy a přišroubován k hlavní části modulu Drive. Tímto umístěním se zajišťuje ideální rozložení hmotnosti pro podmanivé jízdní vlastnosti. Dále dochází k montáži elektromotoru a převodovky, které se dodávají z výrobního závodu Landshut. V případě, že je vůz vybaven prodlužovačem dojezdu (dvouválcový spalovací motor), nastává čas k jeho montáži. Jako poslední se k hlavní části modulu Drive připevňuje pomocný rám přední části a další deformační zóny. Poté přichází chvíle pro finální montáž.

Montáž vozu.

Modul Life z uhlíkových kompozitů přijíždí na stejné místo ze své montážní linky nazvané „Life“ s již naspecifikovanou výbavou a provedením interiéru. Nyní přichází čas na „svatbu“, při níž se oba moduly pevně slepí a sešroubují čtyřmi šrouby. Po tomto spojení dochází k instalaci probarvených vnějších dílů karoserie z termoplastu, které jsou vyrobené převážně metodou vstřikování.

Celkově zabere montáž vozu na výrobní lince 20 hodin, což je přibližně polovina ve srovnání s výrobou konvenčního automobilu. Této úspory je dosaženo zásluhou paralelní výroby obou modulů a současně menším počtem dílů struktury vyrobené z uhlíkových kompozitů.

Stejně jako je tomu u jiných modelů BMW, také BMW i3 míří z výrobní linky ke kontrole kvality. Zde automobil projde náročnými zkouškami, které zajistí, že první elektrický vůz BMW Group plní všechny kvalitativní standardy.

Celkově bylo do lipské továrny BMW v souvislosti s vozy BMW i investováno 400 milionů EUR a vzniklo zde 800 nových pracovních míst.



6. Odpovědná výroba v Lipsku.

Výroba BMW i stanovuje nové standardy a přináší redukci spotřeby energie o 50 procent a vody o 70 procent ve srovnání s průměrnými hodnotami z továren BMW Group, které jsou v daném hodnocení velmi úsporné. Elektřinu potřebnou pro výrobu modelů BMW i vyrábí čtveřice větrných elektráren, umístěných přímo na pozemku továrny v Lipsku.

Pro snížení spotřeby energie byla provedena důkladná analýza všech výrobních procesů. Inteligentní řízení větrání například zajistí, že zásluhou speciálních otvorů v oblasti stropu dojde během dne několikrát ke kompletní výměně vzduchu ve výrobních halách. Přirozená ventilace nejenže omezuje pachy uvnitř výrobního závodu, ale současně také ochlazuje provozy, v nichž vzniká teplo. Díky tomu není potřeba žádný doplňkový ventilátor nebo klimatizační jednotka. Bílý plastový potah v horní části výrobní haly usměrňuje průchod světla do interiéru, a tím omezuje nutný výkon osvětlení. Nové výrobní haly v Lipsku stanovují v mnoha ohledech v automobilovém průmyslu nové standardy.

Více informací o značce BMW spolu s fotografiemi je k dispozici v českém jazyce na: www.press.bmwgroup.com/pressclub/p/cz/startpage.htm nebo na mezinárodních stránkách <https://www.press.bmwgroup.com>.

Veronika Jakubcová
Corporate Communication Manager
BMW Group Česká republika