



# Παραγωγή BMW i: Επανάσταση στην παραγωγή αυτοκινήτων: Περιεχόμενα.

## **1. Φιλοσοφία παραγωγής BMW i: Μονάδες Life και Drive.**

## **2. Εκκίνηση μιας νέας εποχής – αυτοκίνητα από CFRP**

Η Παραγωγή ανθρακοκονήματος με χρήση υδροηλεκτρικής ενέργειας στο Moses Lake, USA.

Επεξεργασία σε φύλλα ανθρακοκονημάτων στο Wackersdorf. Παραγωγή εξαρτημάτων από CFRP σε Landshut και Λειψία.

Νέες μέθοδοι ακριβείας στην κατασκευή αμαξωμάτων από CFRP.

## **3.Ελαφρύ και ανθεκτικό: θερμοπλαστικό, εξωτερικό κέλυφος αμαξώματος.**

Οδηγός Διαδρομών καθοδηγεί οδηγούς αυτοκινήτων, ποδηλάτες και πεζοπόρους στην καρδιά των Άλπεων.

## **4. Μονάδα Drive: βασική δομή, μπαταρία υψηλής τάσης και ηλεκτροκινητήρας κατασκευάζονται σε Βαυαρικά εργοστάσια.**

Μπαταρία υψηλής τάσης.

Ηλεκτρικό σύστημα κίνησης

## **5. Cockpit.**

## **6. Παράλληλες διαδικασίες: συναρμολόγηση.**

Συναρμολόγηση ολόκληρου του οχήματος.

## **7. Βιώσιμη παραγωγή στη Λειψία.**



# 1. Φιλοσοφία BMW i: Μονάδες Life και Drive.

Με το BMW i3, το BMW Group προτίθεται να λανσάρει ένα ηλεκτρικό όχημα παραγωγής που αντιπροσωπεύει μία νέα μορφή βιώσιμης μετακίνησης σε αστικές περιοχές. Ως το πρώτο premium ηλεκτρικό όχημα, το BMW i3 απαντά στις κοινωνικές, οικολογικές και οικονομικές προκλήσεις της εποχής μας. Η επαναστατική αρχιτεκτονική του απαιτεί τη χρήση σύγχρονων υλικών και καινοτόμων διαδικασιών παραγωγής. Η βιωσιμότητα παίζει κυρίαρχο ρόλο για το BMW Group και σε αυτό τον τομέα. Το BMW i3 ήταν το πρώτο αυτοκινητιστικό project για το οποία συμφωνήθηκαν στόχοι βιωσιμότητας και στη συνέχεια επιδιώχθηκαν με το ίδιο σθένος όπως οι αντίστοιχοι του κόστους, βάρους και ποιότητας. Στόχος είναι επίσης η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή, εστιάζοντας σε παράγοντες όπως η παροχή ενέργειας και η κατανάλωση νερού, τα απόβλητα διαλυτών και η συνολική επεξεργασία των αποβλήτων. Είναι ένας στόχος στον οποίον έχουν δεσμευτεί όλες οι εγκαταστάσεις του δικτύου παραγωγής BMW i – όπως Moses Lake στην Πολιτεία Washington (παραγωγή ανθρακονημάτων) και Wackersdorf (παραγωγή φύλλων ανθρακονημάτων). Τη διεύθυνση των δύο αυτών μονάδων έχει η SGL Automotive Carbon Fibers (ACF), μία κοινοπραξία του BMW Group με το SGL Group.

Οι μονάδες πλασιώνονται από τα εργοστάσια του BMW Group σε Dingolfing, Landshut και Λειψία. Η καινοτόμος αρχιτεκτονική του BMW i3 αποτελείται από δύο στοιχεία: την αλουμινένια μονάδα Drive – που περιλαμβάνει το σύστημα κίνησης, το πλαίσιο, τη μπαταρία και τα συστήματα παθητικής ασφάλειας – και τη μονάδα Life ή κλωβό επιβατών, που κατασκευάζεται από πλαστικό ενισχυμένο με ανθρακονήματα (CFRP). Η φιλοσοφία LifeDrive και η χρήση του CFRP επιτρέπουν τη μείωση του χρόνου παραγωγής στο μισό συγκριτικά με ένα εφάμιλλο αυτοκίνητο σε συμβατικές γραμμές. Η διαδικασία απαιτεί μικρότερη επένδυση αφού το υψηλό κόστος που χαρακτηρίζει ένα συμβατικό τμήμα πρεσών και το βαφείο δεν υφίσταται πλέον, ενώ οι μονάδες Life και Drive μπορούν να κατασκευάζονται παράλληλα. Η χρήση CFRP στην κλίμακα που απαιτείται για τα μοντέλα BMW i είναι πρωτοφανής στη βιομηχανία αυτοκινήτου παγκοσμίως και το BMW Group έχει αναλάβει ηγετικό ρόλο.

## 2. Εκκίνηση μιας νέας εποχής- αυτοκίνητα από CFRP.



Η απόλυτη δέσμευση στην δομή ελαφρού βάρους είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα ηλεκτροκίνητα οχήματα επειδή, πέρα από τη χωρητικότητα της μπαταρίας, το βάρος του αυτοκινήτου είναι περιοριστικός παράγοντας στην αυτονομία του: όσο ελαφρύτερο είναι ένα όχημα, τόσο μεγαλύτερη η αυτονομία του. Για να αντισταθμίσει το πρόσθετο βάρος των ηλεκτρικών εξαρτημάτων, το BMW i χρησιμοποιεί εκτενώς τεχνικές ελαφριάς δομής και καινοτόμα υλικά. Η μονάδα Life του BMW i3 κατασκευάζεται κυρίως από πλαστικό ενισχυμένο με ανθρακονήματα (CFRP). Αυτό το καινοτόμο υλικό παράγεται από την κοινοπραξία SGL Automotive Carbon Fibers (SGL ACF).

### **Παραγωγή ανθρακονημάτων με χρήση υδροηλεκτρικής ενέργειας: Moses Lake, ΗΠΑ.**

Το εργοστάσιο της SGL ACF στο Moses Lake των ΗΠΑ παράγει ανθρακονήματα από θερμοπλαστικό ύφασμα βασισμένο σε πολυακρυλονιτρίλιο. Με μία περίπλοκη διαδικασία πολλαπλών σταδίων, τα διάφορα συστατικά στοιχεία του νήματος αφαιρούνται με αεριοποίηση, με αποτέλεσμα να απομένει ένα νήμα που αποτελείται από σχεδόν καθαρό άνθρακα με σταθερή δομή γραφίτη. Τα παραγόμενα ανθρακονήματα έχουν πάχος μόλις επτά microns (0,007 mm). Μία ανθρώπινη τρίχα, αντίστοιχα, έχει διάμετρο 50 microns. Για εφαρμογή στο αυτοκίνητο, περίπου 50.000 ξεχωριστά νήματα πλέκονται δημιουργώντας τα λεγόμενα «βαριά σχοινιά» και τυλίγονται σε ράουλα πριν από κάθε περαιτέρω επεξεργασία. Όλη η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ανθρακονήματος στο Moses Lake προέρχεται από τοπική μονάδα ανανεώσιμης υδροηλεκτρικής ενέργειας χωρίς εκπομπές CO<sub>2</sub>. Το προηγμένο εργοστάσιο των ΗΠΑ θέτει επίσης νέα πρότυπα στην απόδοση ενέργειας. Το Moses Lake κατασκευάζει πολύ ελαφρές high-tech ίνες από τα τέλη του 2011. Δύο γραμμές παραγωγής με συνολική δυναμικότητα 3.000 τόνων το χρόνο παρέχουν τις απαιτούμενες ποσότητες. Οι δύο μητρικές εταιρίες –BMW Group και SGL Group – έχουν επενδύσει περίπου 72 εκατομμύρια ευρώ (100 εκατομμύρια δολάρια) στις εγκαταστάσεις παραγωγής του Moses Lake μέχρι σήμερα και έχουν δημιουργήσει 80 νέες θέσεις εργασίας.

### **Επεξεργασία σε φύλλα από ανθρακονήματα στο Wackersdorf.**

Τα ράουλα με τις πλεξούδες που παράγονται στο Moses Lake στέλνονται στο δεύτερο εργοστάσιο της κοινοπραξίας στο Wackersdorf Innovation Park για βιομηχανική επεξεργασία σε ελαφρά φύλλα ανθρακονημάτων.

Μετά από μία επένδυση 20 εκατομμυρίων ευρώ και τη δημιουργία περίπου 150 νέων θέσεων εργασίας, σήμερα αρκετές χιλιάδες τόνοι φύλλων από ανθρακονήματα κατασκευάζονται ετησίως στις εγκαταστάσεις του Wackersdorf. Φύλλα από ανθρακονήματα με διαφορετικό προσανατολισμό των ινών ταξινομούνται σε στοίβες που αποτελούνται από αρκετά στρώματα με διάφορες κατευθύνσεις πριν διαμορφωθεί το τελικό σχήμα τους. Τα φύλλα αυτά αποτελούν την πρώτη ύλη για τη κατασκευή εξαρτημάτων και πάνελ από CFRP στα εργοστάσια της BMW στο Landshut και τη Λειψία. Τα υπολείμματα από CFRP ανακυκλώνονται στο Wackersdorf και στη συνέχεια ξαναχρησιμοποιείται – σε μοντέλα BMW i, για παράδειγμα. Αυτή τη στιγμή, περίπου το 10% του ανθρακονήματος που χρησιμοποιείται στο BMW i3 είναι ανακυκλωμένο υλικό.

### **Επεξεργασία σε εξαρτήματα CFRP σε Landshut και Λειψία.**

Οι στοίβες που προέρχονται από το Wackersdorf μετατρέπονται σε εξαρτήματα αμαξώματος για τα BMW i3 και BMW i8 στις καινοτόμες εγκαταστάσεις παραγωγής της BMW σε Landshut και Λειψία, που λειτουργούν τρεις γραμμές παραγωγής για εξαρτήματα αμαξώματος από CFRP. Την τελευταία δεκαετία, οι ειδικοί CFRP του BMW Group έχουν βελτιώσει σταθερά και αυτοματοποιήσει τη διαδικασία παραγωγής στο εργοστάσιο του Landshut, ώστε για πρώτη φορά, υπάρχει δυνατότητα μαζικής παραγωγής εξαρτημάτων αμαξώματος από CFRP χωρίς υψηλό κόστος, με υψηλή ποιότητα και με υψηλή παραγωγική αξιοπιστία. Έτσι, το κόστος παραγωγής των εξαρτημάτων αμαξώματος από CFRP στο διάστημα αυτό έχει μειωθεί περίπου 50%. Μία πηγή θερμότητας χρησιμοποιείται για να δώσει στην υφασμάτινη μάζα μία σταθερή, τρισδιάστατη μορφή. Αρκετά από αυτά τα προδιαμορφωμένα τμήματα μπορούν να ενωθούν για τη δημιουργία ενός μεγαλύτερου εξαρτήματος. Με αυτό τον τρόπο, το CFRP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παράδειγμα, για την παραγωγή εξαρτημάτων με μεγάλη επιφάνεια, η οποία θα ήταν δύσκολο να κατασκευαστεί από αλουμίνιο ή φύλλο ατσάλιου. Μετά την προ-διαμόρφωση και ένωση ακολουθεί το επόμενο στάδιο της διαδικασίας: χύτευση με ψεκασμό ρητίνης υπό υψηλή πίεση - Resin Transfer Moulding (RTM). Η τεχνική αυτή υιοθετεί ψεκασμό υγρής ρητίνης υπό πίεση στις προ-φόρμες. Καθώς τα νήματα με τη ρητίνη συγκολλώνται και στη συνέχεια σκληραίνουν, το υλικό αποκτά την ακαμψία που είναι βασική για τις έξοχες ιδιότητές του.

Τηρώντας με ακρίβεια προκαθορισμένες παραμέτρους χρόνου, πίεσης και θερμοκρασίας, οι πρέσες CFRP ασκούν πίεση μέχρι 4.500 t, μέχρις ότου αλληλεπιδράσει πλήρως η ρητίνη με το σκληρυντικό και «στεγνώσει» και η ρητίνη.

Αυτή η αυτοματοποιημένη διαδικασία καταργεί την ανάγκη για μία πρόσθετη, χρονοβόρα διαδικασία σκλήρυνσης σε ξεχωριστό φούρνο, που κανονικά θα απαιτούνταν για τα νέα εξαρτήματα CFRP.

Η διαδικασία CFRP δεν είναι πλέον συγκρίσιμη με τη συμβατική παραγωγή φύλλων ατσαλιού. Η βιομηχανοποιημένη παραγωγή του CFRP είναι εξαιρετικά οικονομική και κάνει εφικτή για την αυτοκινητοβιομηχανία τη μαζική παραγωγή μεγάλων εξαρτημάτων από CFRP για πρώτη φορά. Ακόμα και τα περίπλοκα συγκροτήματα με πολλά δομικά στοιχεία ήδη ενσωματωμένα, όπως ένα ολόκληρο πλαίσιο πλαίσιο για τη μονάδα Life του BMW i3, παράγονται στο εργοστάσιο με υψηλό επίπεδο αυτοματοποίησης.

Ένα ακόμα στάδιο επεξεργασίας είναι το φινίρισμα, δηλαδή η ακριβής κοπή των περιγραμμάτων και η προσθήκη οπών/ανοιγμάτων. Αυτή η εργασία εκτελείται μέσω ενός ειδικού συστήματος κοπής με ψεκασμό νερού. Ακολουθεί αμμοβολή και τριβή των επιφανειών συγκόλλησης πριν από κάθε περαιτέρω επεξεργασία. Ένα συμβατικό πλαίσιο πλαίσιο από φύλλο ατσαλιού, αντίθετα, θα έπρεπε να κατασκευαστεί στη συνέχεια από διαφορετικά εσωτερικά και εξωτερικά εξαρτήματα.

### **Νέες διαδικασίες υψηλής ακρίβειας στην κατασκευή αμαξωμάτων από CFRP.**

Τα νέα συνθετικά εξαρτήματα από CFRP συγκολλούνται στο νέο τμήμα αμαξωμάτων στη Λειψία. Εκεί παίρνει σχήμα η βασική δομή της μονάδας Life. Υψηλό επίπεδο γεωμετρικής ενσωμάτωσης σημαίνει ότι η δομή CFRP χρειάζεται μόνο το ένα τρίτο του αριθμού των εξαρτημάτων που απαιτείται για ένα συμβατικό, ατσάλινο αμάξωμα. Η βασική δομή της μονάδας Life μιας BMW i3 αποτελείται από περίπου 150 εξαρτήματα.

Δεν υπάρχει θόρυβος από το βίδωμα ή το πριτσίνωμα, ούτε σπινθήρες από τη συγκόλληση. Αντί αυτών, χρησιμοποιείται μόνον η τελευταία τεχνολογία συγκόλλησης, που είναι 100% αυτοματοποιημένη. Σε αυτή τη μοναδική διαδικασία συναρμολόγησης της BMW, τα ατομικά εξαρτήματα τοποθετούνται σε τέτοια απόσταση ώστε οι αρμοί να είναι 1,5 mm για να διασφαλίζεται βέλτιστη αντοχή της συγκόλλησης. Το συνολικό μήκος συγκολλήσεων ανά όχημα είναι προκαθορισμένο με ακρίβεια στα 160 m.

Προκειμένου να ελαχιστοποιήσει τους χρόνους σκλήρυνσης για τη μαζική παραγωγή του BMW i3, η BMW έχει επιταχύνει διαδικασία σκλήρυνσης. Χάρη στην πολύ εξελιγμένη μορφή της, η κόλλα μπορεί να δουλευτεί μόνο για 90 δεύτερα από τη στιγμή που θα απλωθεί σε ένα εξάρτημα πριν ξεκινήσει η συγκόλληση.

Μιάμιση ώρα αργότερα έχει στεγνώσει προσφέροντας μέγιστη αντοχή. Αυτό μεταφράζεται δεκαπλάσια επιτάχυνση του χρόνου σκλήρυνσης συγκριτικά με τις συμβατικές κόλλες. Για περαιτέρω μείωση του χρόνου σκλήρυνσης σε κάτω από 10 λεπτά, η BMW έχει εξελίξει μία συμπληρωματική θερμική διαδικασία σε ειδικά σημεία των CFRP εξαρτημάτων, επιταχύνοντας επομένως τη διαδικασία σκλήρυνσης ακόμα περισσότερο.

### **3. Ελαφρύ και ανθεκτικό: θερμοπλαστικό, εξωτερικό κέλυφος αμαξώματος.**

Το BMW i3 είναι το πρώτο μοντέλο BMW με εξωτερικό κέλυφος αμαξώματος κατασκευασμένο αποκλειστικά από θερμοπλαστικό. Μοναδική εξαίρεση είναι η οροφή που κατασκευάζεται από ανακυκλωμένο CFRP. Το βάρος των πλαστικών τμημάτων είναι περίπου το μισό από αυτό των ασάλινων εξαρτημάτων. Το πλαστικό προσφέρει επίσης αντιδιαβρωτική εξωτερική προστασία και καταναλώνει λιγότερο ενέργεια για την παραγωγή του ενώ παράλληλα είναι ανθεκτικό στις μικροζημιές. Το θερμοπλαστικό κέλυφος παράγεται με χρήση 25% ανακυκλωμένων ή ανακυκλώσιμων υλικών. Ολόκληρο το εξωτερικό κέλυφος του BMW i3 παράγεται στο εργοστάσιο της BMW στη Λειψία. Όπως οι εμπρός και πίσω ποδιές των συμβατικών μοντέλων BMW, τα πλαστικά τμήματα του BMW i3 κατασκευάζονται με μία από τις τρεις διαφορετικές διαδικασίες θερμοπλαστικής χύτευσης μέσω ψεκασμού, ανάλογα με το εξάρτημα.

Αυτές οι τρεις τεχνικές περιλαμβάνουν: Μία διαδικασία χύτευσης ψεκασμού "TWIN", όπου το εξωτερικό κέλυφος και τα δομικά εξαρτήματα κατασκευάζονται ξεχωριστά και στη συνέχεια συγκολλούνται μεταξύ τους σε ανεξάρτητα, διαδοχικά στάδια, μέσω συγκόλλησης, επίσης μέσω χύτευσης ψεκασμού, μιας επίσης αυτοματοποιημένης διαδικασίας.

Η τελική διαδικασία βαφής δίνει στα τμήματα του εξωτερικού κελύφους τη λάμψη τους ενώ παράλληλα τα προστατεύει από την έκθεσή τους στο περιβάλλον, για παράδειγμα ξεφλούδισμα από πέτρες ή ηλιακή ακτινοβολία. Το νέο βαφείο στη Λειψία χρησιμοποιεί στεγνό διαχωρισμό του σπρέι βαφής και επομένως έχει μηδενικά απόβλητα νερού, ενώ η ενέργεια που καταναλώνει είναι μόλις το ένα τρίτο σε σχέση με ένα συμβατικό βαφείο. Ταυτόχρονα, η κατανάλωση νερού μειώνεται κατά 70% επειδή η διαδικασία δεν περιλαμβάνει αστάρωμα, βαφή και στέγνωμα ολόκληρου του αμαξώματος, όπως γίνεται στα συμβατικά μοντέλα. Αντί αυτού, οι προφυλακτήρες, τα εμπρός πίσω και πλαϊνά τμήματα του BMW i3 μπορούν απλά να βάφονται ατομικά, κάτι που εξοικονομεί πόρους.

Η κατάργηση του συμβατικού αντιδιαβρωτικού στρώματος μέσω μάνιου ηλεκτροφόρησης μειώνει το βάρος του οχήματος κατά 10 kg. Περίπου 300 εργαζόμενοι απασχολούνται μόνο στην παραγωγή πλαστικών εξωτερικών εξαρτημάτων του αμαξώματος για το BMW i3 στη Λειψία.

## 4. Μονάδα Drive: βασική δομή, μπαταρία υψηλής τάσης και ηλεκτροκινητήρας κατασκευάζονται στα Βαυαρικά εργοστάσια.

Η βασική φέρουσα δομή της μονάδας Drive του BMW i3 που κατασκευάζεται στο εργοστάσιο της BMW στο Dingolfing, αποτελείται από αλουμινένια στοιχεία (με αντιδιαβρωτικό στρώμα μέσω μπάνιου ηλεκτροφόρησης) και αλουμινένια χυτά εξαρτήματα. Η σχεδίαση 'ξεχωριστού' πλαισίου από το αμάξωμα' προσφέρει ιδανική θέση για τη μπαταρία και πετυχαίνει βέλτιστη κατανομή βάρους με πολύ χαμηλό κέντρο βάρους, που ωφελεί τη δυναμική συμπεριφορά. Η χρήση αλουμινίου συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της δομής ελαφρού βάρους και εξαιρετικά χαρακτηριστικά σε συγκρούσεις και επομένως συμβάλλει στη συνολική ασφάλεια των μοντέλων BMW i. Η βασική αρχιτεκτονική της μονάδας Drive του BMW i3 είναι μία περίπλοκη συγκολλημένη δομή που αποτελείται από περίπου 160 ατομικά εξαρτήματα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με πάνω από 19 m ραφών συγκόλλησης. Τα χυτά εξαρτήματα της προέρχονται από το χυτήριο ελαφρών κραμάτων του εργοστασίου της BMW στο Landshut. Αυτά προσφέρουν ένα υψηλό επίπεδο λειτουργικής ενσωμάτωσης και είναι σχεδόν έτοιμα για τοποθέτηση. Περίπου 120 άτομα εργάζονται στην κατασκευή της βασικής μονάδας Drive του BMW i στο εργοστάσιο του Dingolfing, σε μία πλήρως αυτοματοποιημένη high-tech μονάδα. Η μονάδα σχεδιάστηκε με βάση τη βιομηχανική τεχνογνωσία και την εμπειρία που απέκτησαν οι τεχνικοί του Dingolfing πάνω στην τεχνολογία του αλουμινίου κατασκευάζοντας επί πολλά χρόνια εμπρός και πίσω άξονες από αλουμίνιο.

### **Μπαταρία υψηλής τάσης.**

Ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο του BMW i που παράγεται στο Dingolfing είναι η μπαταρία υψηλής τάσης. Η διαδικασία ξεκινά με μία δοκιμή στην αρχή της γραμμής παραγωγής, στην οποία οι κυψέλες ιόντων λιθίου ενός εξωτερικού προμηθευτή υποβάλλονται σε έναν αρχικό έλεγχο της απόδοσής τους. Στη συνέχεια, οι κυψέλες καθαρίζονται (μέσω τεχνικής plasma). Μετά από αυτό, οι ατομικές κυψέλες συνδέονται σε μονάδες και συγκολλούνται με μία πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία στην οποία συμμετέχουν πάνω από 20 ρομπότ.

Αυτή η ειδική συναρμολόγηση της μπαταρίας βασίζεται στην εκτενή τεχνογνωσία της BMW. Συνολικά, η διαδικασία συναρμολόγησης περιλαμβάνει περίπου 400 εργασίες. Το κέλυφος της μπαταρίας προστατεύει τις κυψέλες ιόντων λιθίου και ταυτόχρονα βελτιώνει τη στιβαρότητα του οχήματος συνολικά. Αφού οι κυψέλες συνδεθούν σε μονάδες, ξεκινά η διαδικασία συναρμολόγησης.



Οι μονάδες τοποθετούνται μία-μία σε μια αλουμινένια βάση, και μετά συνδέονται με το χέρι εν σειρά μέσω καλωδίωσης επικοινωνίας. Τέλος, τοποθετείται το πάνω και κάτω κάλυμμα της μπαταρίας και οι ολοκληρωμένες μπαταρίες υποβάλλονται σε μία τελική δοκιμή. Η μπαταρία είναι έτσι σχεδιασμένη ώστε οι ατομικές μονάδες να αντικαθίστανται εύκολα σε περίπτωση βλάβης. Μία νέα, εξαιρετικά αυτοματοποιημένη, high-tech μονάδα παραγωγής, που εκτείνεται σε μία επιφάνεια άνω των 2.000 τετραγωνικών μέτρων, στήθηκε στο Dingolfing για την κατασκευή των μπαταριών των μοντέλων BMW i. Ταυτόχρονα, στην ίδια γραμμή κατασκευάζονται οι μπαταρίες υψηλής τάσης για τα υβριδικά μοντέλα των Σειρών 3, 5 και 7. Περίπου 100 πολύ έμπειροι τεχνικοί εργάζονται εδώ, φορτώνοντας, ελέγχοντας και παρακολουθώντας τα συστήματα παραγωγής και διεξάγοντας ελέγχους ποιότητας. Αυτοί έχουν περάσει από ειδική εκπαίδευση προκειμένου να εργαστούν στις μπαταρίες υψηλής τάσης.

### **Ηλεκτρικό σύστημα κίνησης.**

Η BMW έδινε ανέκαθεν ιδιαίτερη έμφαση στο σχεδιασμό του συστήματος κίνησης το οποίο ήταν και παράγοντας διαφοροποίησης. Γι αυτό, το BMW Group αποφάσισε να εξελίξει τον ηλεκτροκινητήρα 125 kW του BMW i3 και τα ηλεκτρονικά συστήματα κίνησης εσωτερικά – στο εργοστάσιο της BMW στο Landshut. Τα εσωτερικά εξαρτήματα του ηλεκτροκινητήρα αποτελούνται από το εσωτερικό κέλυφος, ένα στάτη και έναν ρότορα. Ο στάτης που σχηματίζει τον πυρήνα του ηλεκτροκινητήρα φέρει περίπου 2χλμ σύρματος από χαλκό. Αντίθετα με άλλους ηλεκτροκινητήρες στην ίδια κατηγορία ισχύος, ο ηλεκτροκινητήρας του BMW i3 είναι πολύ μικρός και συμπαγής λόγω εξειδικευμένης περιέλιξης του χάλκινου σύρματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα περαιτέρω εξοικονόμηση βάρους και χώρου. Πριν τοποθετηθεί ο ρότορας στο κέλυφος περιβάλλεται από ένα λεπτό στρώμα ρητίνης. Πριν ολοκληρωθεί η συναρμολόγηση στάτη, ρότορα και κελύφους, το εσωτερικό κέλυφος προθερμαίνεται στους 150 βαθμούς Κελσίου.

## 5. Cockpit.

Στο εργοστάσιο του Landshut κατασκευάζεται επίσης το ταμπλό του BMW i3. Το πρώτο βήμα είναι η θέρμανση πλαστικών μεμβρανών για να αποκτήσουν τρισδιάστατη δομή. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας τοποθέτησης του αφρώδους υλικού, τοποθετείται ένα προσωρινό εξωτερικό κέλυφος από σιλκόνη που στη συνέχεια αφαιρείται για να αντικατασταθεί από την πλαστική ή δερμάτινη επένδυση. Αυτή η εξαιρετικά οικονομική λύση έχει το πλεονέκτημα ότι για μία σειρά μοντέλων κατασκευάζονται αρκετές διαφορετικές εκδόσεις ταμπλό (βασικά μοντέλα και προαιρετικές εκδόσεις εξοπλισμού) χρησιμοποιώντας ένα και το αυτό εργαλείο.

Ο σταθμός εργασιών φρεζαρίσματος που χρησιμοποιείται από το BMW Group για την παραγωγή του ταμπλό είναι μοναδικός παγκοσμίως. Το τμήμα παραγωγής για τα ταμπλό και τα διακοσμητικά ένθετα έχει ήδη κάνει αίτηση κατοχύρωσης ευρεσιτεχνίας γι' αυτό το μηχάνημα (φρέζα), ενώ η όποια σκόνη και ρινίσματα απορροφώνται από το σχετικό ενσωματωμένο σύστημα. Η μόλυνση του αέρα αλλά και του μηχανήματος μειώνονται έτσι κατά 98%. Το περιττό υλικό που συλλέγεται ανακυκλώνεται και επιστρέφει στη διαδικασία παραγωγής.

## 6. Παράλληλες διαδικασίες: συναρμολόγηση.

Αντίθετα με τα οχήματα που έχουν αυτοφερόμενη δομή αμαξώματος και πλαισίου, το BMW i3 έχει οριζόντια διαιρούμενη αρχιτεκτονική LifeDrive, που αποτελείται από δύο ξεχωριστές, ανεξάρτητες μονάδες. Έτσι το εργοστάσιο συναρμολόγησης της Λειψίας, είναι το πρώτο στην ιστορία της BMW που έχει δύο ανεξάρτητες, παράλληλες γραμμές παραγωγής – μία για τη μονάδα Life και μία για τη μονάδα Drive. Αυτό βοήθησε σημαντικά να βελτιωθεί η εργονομική σχεδίαση των σταθμών εργασίας, που παρέχουν βέλτιστη προσβασιμότητα για όλες τις εργασίες συναρμολόγησης. Κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης της μονάδας Drive στη Λειψία, γίνεται η τοποθέτηση της μπαταρίας και της μονάδας του ηλεκτροκινητήρα/συστήματος μετάδοσης στο αλουμινένιο πλαίσιο.

Πρώτα απ' όλα, η μπαταρία που ζυγίζει 230 kg, τοποθετείται στο πάνελ του πατώματος και βιδώνεται στη βασική δομή της μονάδας Drive. Η ενσωμάτωση της μπαταρίας στο πάτωμα του αλουμινένιου πλαισίου έχει σαν αποτέλεσμα τη βέλτιστη κατανομή βάρους, με περαιτέρω οφέλη στη δυναμική συμπεριφορά. Στη συνέχεια, τοποθετείται η μονάδα ηλεκτροκινητήρα/κιβωτίου στο Drive η οποία έχει έρθει από το εργοστάσιο του Landshut και ομοίως βιδώνεται στη θέση της. Προαιρετικά, διατίθεται σύστημα επέκτασης αυτονομίας (έναν δλίτρος βενζινοκινητήρας), που αυξάνει την αυτονομία του οχήματος στα 300 km. Αφού τοποθετηθούν και άλλα βασικά εξαρτήματα στο υποπλαίσιο του εμπρός άξονα – που προ-συναρμολογείται στο Dingolfing – η μονάδα Drive του BMW i3 είναι έτοιμη να προχωρήσει στο τελικό στάδιο συναρμολόγησης.

### **Συναρμολόγηση ολόκληρου του οχήματος.**

Εν τω μεταξύ, ο κλωβός επιβατών (αμαξώμα) από CFRP φτάνει από το τμήμα αμαξωμάτων στο τμήμα συναρμολόγησης όπου στη λεγόμενη γραμμή “Life” γίνεται η τοποθέτηση του εξοπλισμού που έχει παραγγείλει ο πελάτης. Αυτό είναι το τελευταίο βήμα πριν το “πάντρεμα” με την αλουμινένια μονάδα Drive, κατά τη διάρκεια του οποίου ο κλωβός επιβατών από CFRP ενώνεται με το αλουμινένιο πλαίσιο. Οι δύο μονάδες συνδέονται με βίδες σε τέσσερα σημεία. Το αποτέλεσμα είναι βέλτιστη ακαμψία και αντοχή. Αφού γίνει η επίστρωση του υλικού συγκόλλησης στη μονάδα Drive από δύο ρομπότ, αυτή μεταφέρεται στον ειδικό σταθμό όπου ανυψώνεται και κεντράρεται. Ένας ρομποτικός γερανός κατεβάζει τη μονάδα Life ‘μέσα’ στη Drive και η διαδικασία σύνδεσης ξεκινά από το βάρος του ίδιου του αμαξώματος. Σ’ αυτό το στάδιο γίνεται η τοποθέτηση του εξωτερικού πλαστικού κελύφους του BMW i3. Το βαμμένο κέλυφος αποτελείται κυρίως από θερμοπλαστικό (χύτευση μέσω ψεκασμού).

Ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας – 20 ώρες - στο τμήμα αμαξωμάτων και στη γραμμή συναρμολόγησης είναι ο μισός συγκρινόμενος με αυτόν μιας συμβατικής διαδικασίας παραγωγής. Αυτό οφείλεται στις παράλληλες διαδικασίες συναρμολόγησης και στο γεγονός ότι η δομή CFRP περιλαμβάνει λιγότερα εξαρτήματα. Μαζί με τα υπόλοιπα μοντέλα BMW που κατασκευάζονται στη Λειψία, το BMW i3 προχωρά στο σταθμό φινιρίσματος.

Εδώ, εκτελούνται ολοκληρωμένοι έλεγχοι ποιότητας, διασφαλίζοντας ότι το πρώτο ηλεκτρικό μοντέλο μαζικής παραγωγής του BMW Group πληροί τα υψηλά πρότυπα ποιότητας της εταιρίας, όπως οποιοδήποτε άλλο προϊόν του γκρουπ. Παράλληλα, επιτυγχάνονται σημαντικά οφέλη λόγω συνεργειών. Συνολικά, 400 εκατομμύρια ευρώ έχουν επενδυθεί στο εργοστάσιο της Λειψίας για την παραγωγή του BMW i και έχουν δημιουργηθεί 800 νέες θέσεις εργασίας.

## **7. Βιώσιμη παραγωγή στη Λειψία.**

Η παραγωγή του BMW i εγκαινιάζει νέα πρότυπα και προβλέπεται μείωση περίπου 50% στην κατανάλωση ενέργειας και 70% στην κατανάλωση νερού συγκριτικά με τις τρέχουσες μέσες τιμές του BMW Group, που είναι ήδη πολύ αποδοτικές. Η πρόσθετη ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή των μοντέλων BMW i στο εργοστάσιο της Λειψίας παράγεται από τέσσερις ανεμογεννήτριες, εγκατεστημένες στο χώρο του εργοστασίου. Το Αμερικανικό Συμβούλιο για «Πράσινες» Κτιριακές. Εγκαταστάσεις (U.S. Green Building Council) έχει ήδη απονείμει στο νέο κτίριο της Λειψίας χρυσή πιστοποίηση LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) για το βιώσιμο σχεδιασμό του. Με την εφαρμογή μιας σειράς μέτρων έχει μειωθεί σημαντικά η κατανάλωση ενέργειας στις μονάδες παραγωγής.

Ένα έξυπνα ελεγχόμενο σύστημα εξαερισμού διασφαλίζει ότι ο αέρας στις εγκαταστάσεις παραγωγής ανανεώνεται πλήρως αρκετές φορές την ημέρα μέσω των παραθύρων στην οροφή. Ο φυσικός εξαερισμός μειώνει τα επίπεδα οσμών και σκόνης στο τμήμα αμαξωμάτων και συναρμολόγησης. Επίσης προσφέρει την απαραίτητη ψύξη για το τμήμα πρεσών αντισταθμίζοντας τη θερμότητα που παράγεται από τις πρέσες. Ολόκληρο το σύστημα εξαερισμού δεν απαιτεί πρόσθετους ανεμιστήρες ή συστήματα AC. Λευκή πλαστική μεμβράνη στις λωρίδες των φωταγωγών ανακλά το ηλιακό φως και μειώνει την ανάγκη για τεχνητό φωτισμό. Επομένως, τα νέα κτίρια στη Λειψία εγκαινιάζουν νέα πρότυπα στη βιομηχανία αυτοκινήτου και στον τομέα της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας.