

Εύκαμπτα καλώδια TECHNERGY – TECWIND για ανεμογεννήτριες από την PRYSMIAN

Καλώδια σε ανεμογεννήτριες και αιολικά πάρκα

Η διαρκής επέκταση της χρήσης των ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δημιουργεί ολοένα και αυξανόμενες απαιτήσεις για τον εξοπλισμό των αιολικών πάρκων. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα καλώδια, τα οποία πρέπει να μεταφέρουν την ενέργεια στο δίκτυο διανομής.

Το άρθρο αυτό παρουσιάζει τα ειδικά - εύκαμπτα καλώδια της σειράς TECHNERGY - TECWIND της PRYSMIAN, που είναι ειδικά σχεδιασμένα για ανεμογεννήτριες. Τα πλεονεκτήματά τους επιβεβαιώνονται από μια σειρά συγκριτικές δοκιμές με άλλα ανταγωνιστικά προϊόντα.

Οι υψηλές επιδόσεις αυτής της σειράς καλωδίων οφείλονται στην ειδική σχεδίασή τους καθώς και στα ειδικά μείγματα με τα οποία κατασκευάζονται και τα οποία διασφαλίζουν υψηλή αντοχή και εξαιρετική ευκαμψία. Τα καλώδια TECHNERGY - TECWIND διατίθενται σε μια πλήρη γκάμα για εφαρμογές χαμηλής και μέσης τάσης, για καλώδια οργάνων και ελέγχου καθώς και για καλώδια πολλαπλών λειτουργιών.

Γενικές προδιαγραφές εύκαμπτων καλωδίων

Οι γενικές απαιτήσεις για τα εύκαμπτα καλώδια καθορίζονται από Ευρωπαϊκούς ή Εθνικούς κανονισμούς. Οι απαιτήσεις αυτές περιγράφονται στα ακόλουθα διεθνή πρότυπα:

- Για ονομαστική τάση λειτουργίας 0,6 / 1 kV στο DIN VDE 0282 part 4 (καλώδια τύπου H07RN-F στους 60°C) και στο DIN VDE 0282 part 12 (καλώδια τύπου H07BN4-F στους 90°C)
- Για ονομαστική τάση λειτουργίας μεγαλύτερη των 0,6 / 1 kV στο DIN VDE 0250 part 813 για καλώδια τύπου NTSWOEU ή NTSCGEWÖEU

Εντούτοις, τα επίπεδα αυτά δεν είναι πλέον επαρκή για να διασφαλίσουν την συνεχή λειτουργία των ανεμογεννητριών η οποία θα πρέπει ουσιαστικά να είναι ελεύθερη συντήρησης, κάτω από τις ειδικές συνθήκες που απαντώνται στις ανεμογεννήτριες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη χρήση βελτιωμένων υλικών και κατασκευών.

Ειδικές απαιτήσεις καλωδίων για ανεμογεννήτριες

Σε ένα αιολικό πάρκο, οι κρίσιμοι παράγοντες για την επιλογή του κατάλληλου καλωδίου είναι η αντοχή σε στρεπτικές τάσεις εντός του κορμού των ανεμογεννητριών, η αντοχή στη θερμότητα και στις θερμοκρασιακές μεταβολές καθώς και η αντοχή σε χημικές ουσίες, ιδιαίτερα στο αλάτι, καθώς είναι συχνή η γειτνίαση των ανεμογεννητριών με το θαλάσσιο περιβάλλον. Επιπλέον, ακόμη και στην περίπτωση που ένα καλώδιο καεί, θα πρέπει να ικανοποιούνται μια σειρά από προδιαγραφές που σχετίζονται με τα προϊόντα της καύσης: η παρουσία τοξικών ουσιών θα πρέπει να ελαχιστοποιείται.

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται μια σειρά από συγκριτικές δοκιμές των καλωδίων TECHNERGY – TECWIND με άλλα ανταγωνιστικά προϊόντα.



Σχήμα 1: Τράπεζα δοκιμών στρεπτικής τάσης

Δοκιμή Αντοχής σε Στρεπτικές τάσεις

Στις περισσότερες εφαρμογές είναι ανεπιθύμητο (επιβλαβές) το καλώδιο να συστρέφεται επειδή η γεωμετρία της όλης κατασκευής του καλωδίου επηρεάζεται αρνητικά. Συστρέφοντας το καλώδιο, ο αγωγός στρέφεται είτε ορθά είτε αντίθετα με τη φορά της πλέξης των κλώνων του αγωγού.

Πολλές φορές, προκειμένου να αποφευχθεί αυτό το είδος συστροφής του αγωγού, μια αντιστρεπτική πλέξη εφαρμόζεται στην κατασκευή του καλωδίου. Μια τέτοια πλέξη είναι απολύτως άχρηστη στα καλώδια για ανεμογεννήτριες, επειδή το κέλυφος της τουρμπίνας περιστρέφεται κατά την διάρκεια της λειτουργίας και επομένως απαιτεί ένα συστρεφόμενο (twistable) καλώδιο.

Οι συνήθεις αγωγοί που χρησιμοποιούνται στα standard καλώδια αντέχουν μόνο μικρές γωνίες ($< 50^\circ / 1\text{m}$) σε στρεπτικές φορτίσεις μεγάλης διάρκειας. Έτσι, οι συνήθεις κατασκευές δεν πιστοποιούνται για τις στρεπτικές τάσεις που υφίστανται στις ανεμογεννήτριες. Η κατασκευή των αγωγών μπορεί να βελτιωθεί μέσω των ακόλουθων τρόπων:

- Τη σωστή επιλογή της διαμέτρου του μονού σύρματος
- Την κατασκευή του αγωγού σε ομοιογενή δέσμη
- Την κατάλληλη σχεδίαση του αγωγού (κατεύθυνση της στρώσης)
- Το μήκος της στρώσης

Τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά ως προς τη στρέψη δε μπορούν να υπολογισθούν. Γι' αυτό κάθε νέα κατασκευή ελέγχεται και δοκιμάζεται στα εργαστήρια της PRYSMIAN με γωνίες έως $200^\circ/1\text{m}$. Στο Σχήμα 1, φαίνεται η τράπεζα δοκιμών στρεπτικής τάσης.

Τα βασικά συμπεράσματα από τις δοκιμές στρέψης των καλωδίων τύπου TECHNERGY - TECWIND διατομής $1 \times 185 \text{ mm}^2$ συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Αντοχή σε περιστροφή μέχρι $\pm 150^\circ / 1\text{m}$ με φορτίο εφελκυσμού 400N.
- Αντοχή μέχρι και 20.000 περιστροφές

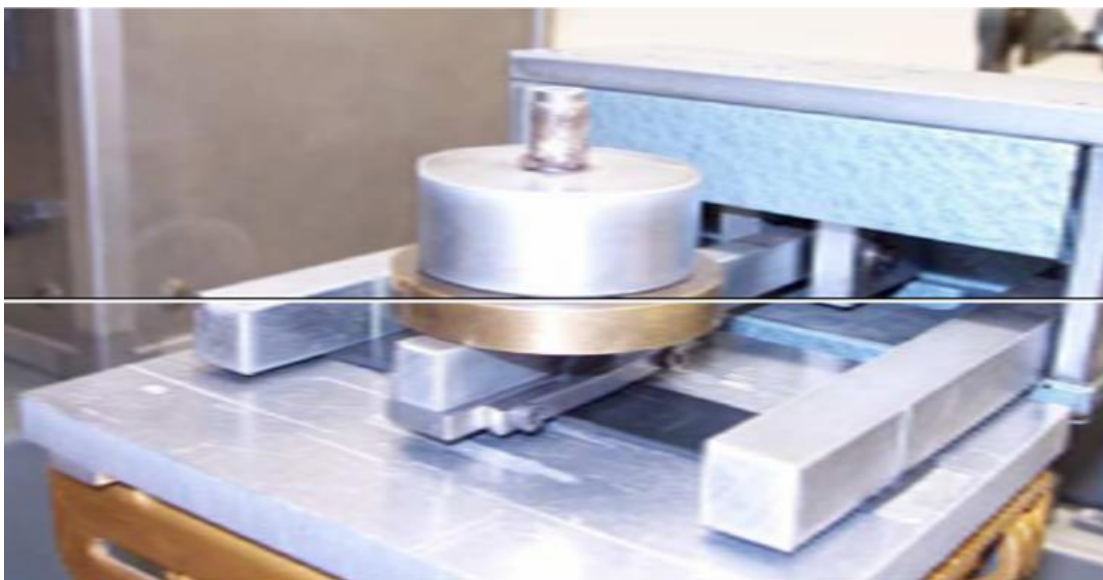
Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2, οι συνήθεις standard αγωγοί τύπου H07RN-F έχουν σχεδόν σπάσει εντελώς μετά τη δοκιμή και δεν είναι πλέον λειτουργικοί καθώς παρουσιάζουν σπασμένα συρματίδια σε ποσοστό μεγαλύτερο του 70%.

Αντίθετα, οι βελτιωμένοι αγωγοί ενός καλωδίου της σειράς TECWIND είναι ακόμα πλήρως λειτουργικοί μετά τη δοκιμή



Σχήμα 2: Δοκιμή ενός καλωδίου H07RN-F 1X300mm² σε στρεπτική φόρτιση μεγάλης διάρκειας. Σπασμένα συρματίδια σε ποσοστό μεγαλύτερο του 70%. Εντελώς σπασμένος αγωγός μετά από μόλις 2.000 περιστροφές.

Δοκιμή Αντοχής στην Τριβή

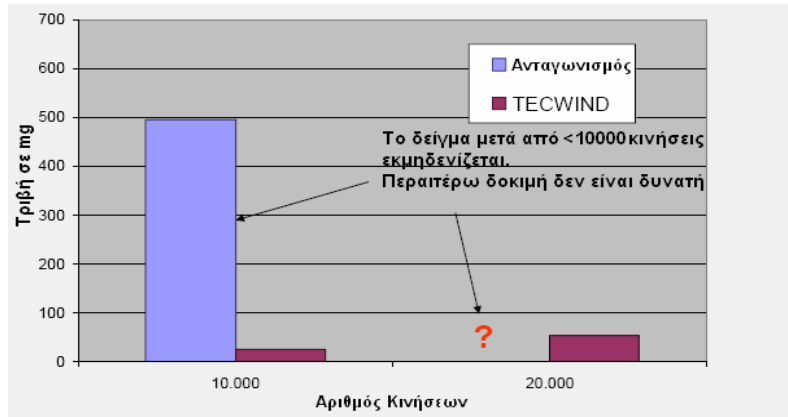


Σχήμα 3: Τράπεζα δοκιμών για τριβή Μανδύα

Όσον αφορά τη συμπεριφορά του καλωδίου σε τριβή, οι εργαστηριακές δοκιμές παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις ανάλογα, με τα χρησιμοποιούμενα μέσα. Οι δοκιμές τριβής των καλωδίων της Prysmian συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Τριβή μεταξύ Μανδύα και	Μέθοδος Δοκιμής	Εφαρμογή
Άμμου	VDE	Έλξη καλωδίων
Μανδύα	Prysmian - Εσωτερική δοκιμή	Κατακόρυφο τύλιγμα σε στροφέιο Ανεμογεννήτριες
Μετάλλου / Πλαστικού	Prysmian - Εσωτερική δοκιμή	Αλυσίδες - Ερπύστριες

Τα αποτελέσματα της δοκιμής για τριβή μανδύα – μανδύα, παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Αποτελέσματα δοκιμών τριβής μανδύα για καλώδιο TECHNERGY – TECWIND σε σύγκριση με άλλα ανταγωνιστικά προϊόντα.

Δοκιμή Συμπεριφοράς σε καύση

Η συμπεριφορά ενός καλωδίου σε καύση, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60332-1, εξετάζεται σε ένα μόνο καλώδιο, με μήκος 600mm ενώ η διάρκεια της δοκιμής κυμαίνεται στα 60 – 480 sec. Η συμπεριφορά σε καύση των καλωδίων τύπου TECWIND (H) εξετάζεται επιπρόσθετα σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60332-3 που προδιαγράφει πολλαπλά καλώδια, με μήκος 3600mm ενώ η διάρκεια της δοκιμής κυμαίνεται από 20 – 40 min.

Για να αξιολογηθεί και να πιστοποιηθεί σωστά ένα καλώδιο, θα πρέπει το προϊόν της καύσης του να μην έχει μεγάλη παρουσία αλογόνων, να χαρακτηρίζεται από χαμηλή τοξικότητα και, τέλος, ο καπνός της καύσης να έχει χαμηλή πυκνότητα. Η δοκιμή ενός καλωδίου στην καύση γίνεται σε έναν κλειστό κλίβανο ή θάλαμο καύσης, όπου καίγεται μικρή ποσότητα του υλικού, κάτω από καθορισμένες συνθήκες.

α) Ελεύθερο αλογόνων

Όταν καίγονται υλικά που περιέχουν αλογόνα (κύριο συστατικό των υλικών των καλωδίων, όπως π.χ. τα PVC, CR, CM, CSM) παράγονται διαβρωτικοί καπνοί. Σε συνδυασμό με την υπάρχουσα υγρασία ή το νερό κατάσβεσης αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία οξέων (π.χ. Υδροχλωρικό οξύ, HCl). Αυτά οδηγούν σε πρόσθετες διαδοχικές καταστροφές, βλάπτοντας το χρησιμοποιούμενο ενισχυμένο τσιμέντο ή τις ηλεκτρονικές συσκευές. Επιπλέον, τα παραγόμενα οξέα θέτουν σε κίνδυνο τους ανθρώπους μέσω της χημικής επίδρασης που έχουν στην αναπνευστική οδό.

Σε περιοχές με υψηλή συγκέντρωση περιουσιακών στοιχείων ή με πιθανό κίνδυνο για τους ανθρώπους, χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο προϊόντα ελεύθερα αλογόνων. Απόδειξη ότι τα χρησιμοποιούμενα υλικά είναι ελεύθερα αλογόνων παρέχεται εάν δοκιμασθούν σύμφωνα με το VDE 0482 Part 267 (IEC 60754-2), όπου μετράται η αγωγιμότητα και η τιμή του pH ενός υδατικού διαλύματος του καπνού.

β) Τοξικότητα

Ενώ η διαβρωτικότητα προσβάλλει και προκαλεί καταστροφές στην ιδιοκτησία, η τοξικότητα των καπνών μπορεί να έχει σοβαρό αντίκτυπο στους ανθρώπους.

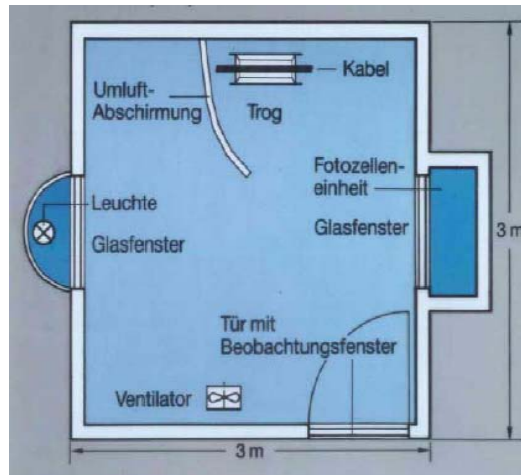
Ειδικά τοξικά μείγματα, εξετάζονται τόσο ως προς την ύπαρξη όσο και ως προς την ποσότητα προκειμένου να αποτιμηθεί η τοξικότητα του καπνού. Η ποσότητα που κάθε φορά ανιχνεύεται, συγκρίνεται με δεδομένες συγκεντρώσεις αναφοράς που αναφέρονται στην ειδική τοξικότητα των στερεών ουσιών. Οι τιμές που μετρώνται για τις διάφορες τοξικές ουσίες προστίθενται και η συνολική τιμή είναι ο δείκτης τοξικότητας για το υπό έλεγχο υλικό.

γ) Ποκνότητα καπνού

Η δοκιμή πυκνότητας καπνού γίνεται σύμφωνα με το DIV VDE 0482 Part 268. Η μέτρηση της εκπομπής καπνού από καίγόμενα καλώδια, βασίζεται στην μείωση της μετάδοσης του φωτός σε ένα κυβικό θάλαμο 27 m³, Σχήμα 5, τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά την καύση 1 lt αιθανόλης. Η διάρκεια δοκιμής είναι μέχρι 40 min.

Ανάλογα με την εξωτερική διάμετρο του καλωδίου τοποθετούνται απευθείας πάνω από την αλκοόλη ένα ή περισσότερα δείγματα καλωδίου.

Το καλώδιο θεωρείται ότι ικανοποιεί επαρκώς το κριτήριο αυτό, αν η ένταση του φωτός διατηρείται πάνω από το 60%.



Σχήμα 5: Θάλαμος δοκιμής καύσεως καλωδίων

Δοκιμή Ευκαμψίας




Η ευκαμψία ενός καλωδίου οφείλεται κατά κύριο λόγο στους ακόλουθους παράγοντες:

Στη σχεδίαση του αγωγού (μέγεθος συρματιδίου, κατασκευή), στην ακαμψία του χρησιμοποιούμενου μείγματος για τη μόνωση, στο μήκος στρώσης των εσωτερικών αγωγίμων συρματιδίων του καλωδίου (πυρήνων), στα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται κατά τη συναρμολόγηση των πυρήνων και στην ακαμψία του μείγματος του μανδύα

Υπάρχουν ποικίλες μέθοδοι για τον καθορισμό της ευκαμψίας. Η στατική ευκαμψία εξετάζεται σύμφωνα με το πρότυπο DIN VDE 0282 Part 2. Η Prysmian ακολουθεί μια διαφορετική μέθοδο, αυτή της μέτρησης της φυσικής ακτίνας κάμψης, Σχήμα 6 . Οι δοκιμές ευκαμψίας ενός καλωδίου, γίνονται για λειτουργία τόσο σε ψυχρό όσο και σε θερμό περιβάλλον.

α) Ευκαμψία σε Ψυχρό περιβάλλον

Κατά την διάρκεια λειτουργίας των καλωδίων σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (έως -40°C), πρέπει να διακρίνουμε μεταξύ της θραύσης εν ψυχρώ και της ευκαμψίας εν ψυχρώ. Η θραύση εν ψυχρώ είναι το σημείο που ο μανδύα σπάζει ενώ η ευκαμψία εν ψυχρώ είναι το σημείο όπου ο μανδύας γίνεται τόσο στερεός (άκαμπος) που είναι αδύνατο για το καλώδιο να λυγίσει περαιτέρω.

		
Κιβώτιο δοκιμών θερμοκρασίας για περιοχές από -70 έως $+80^{\circ}\text{C}$	Μέθοδος δοκιμής για ατέλειες στο ψυχρό	Δείγμα

Σχήμα 6: Δοκιμές ευκαμψίας της Prysmian

Λειτουργία σε θερμό περιβάλλον

Ο τύπος του καλωδίου H07RN δεν προκρίνεται για χρήση σε ανεμογεννήτριες λόγω της πολύ χαμηλής επιτρεπτής θερμοκρασίας πάνω στον αγωγό (60°C).

Η οικογένεια προϊόντων TECWIND παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα με τις γενικά επιτρεπτές θερμοκρασίες των 90°C πάνω στον αγωγό. Για παράδειγμα, ο τύπος καλωδίου S1ZZ-F προσφέρει μείγματα μόνωσης των 110°C και μείγματα μανδύα των 120°C ενώ παρέχει και επιπρόσθετα οφέλη: υψηλότερη

μέγιστη επιτρεπτή ικανότητα ρεύματος φόρτισης, καλύτερη συμπεριφορά όσον αφορά την ανθεκτικότητα στη γήρανση λόγω θερμότητας, σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος στις ανεμογεννήτριες.

Στο Σχήμα 7, είναι προφανής η φθορά του μανδύα τυπικών καλωδίων που χρησιμοποιούνται στις ανεμογεννήτριες, αποτέλεσμα των μειγμάτων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του μανδύα (αντοχή έως +60°C) καθώς και των πολύ υψηλών ρευμάτων και θερμοκρασιών περιβάλλοντος. Παρόμοιες ρωγμές εμφανίζονται επίσης κατά τη λειτουργία σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες στα κινούμενα καλώδια.



Σχήμα 7: Θραύση στο μανδύα ανταγωνιστικών καλωδίων μετά από χρήση 18 μηνών σε ανεμογεννήτριες

Σύνοψη των ειδικών χαρακτηριστικών των καλωδίων TECHNERGY - TECWIND

Στο Σχήμα 8 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των καλωδίων της σειράς TECWIND, τα οποία επιβεβαιώνονται από τις δοκιμές που προαναφέρθηκαν. Επίσης αναφέρονται τα χαρακτηριστικά μιας σειράς ανταγωνιστικών προϊόντων.

Τύπος	Σχεδίαση	Στρέψη	Τριβή	Συμπεριφορά σε κάυση	Ελεύθερο αλογόνων	Τοξικότητα	Πυκνότητα καπνού	Ευκαμψία	Ψυχρό	Θερμό
TECWIND	H07BN4-F	±150°/m							-35°C	90°C
	NTSCGEWÖU	±100°/m							-35°C	90°C
TECWIND(H)	H07ZZ-F	±150°/m							-40°C	90°C
	S1ZZ-F	±150°/m							-40°C	110°C
TECWIND(HM)	(N)TSCGEHXÖU	±100°/m							-40°C	90°C
	(N)TSCGEHXÖU	±100°/m							-40°C	90°C

Σε σύγκριση										
H07RN									-35°C	80°C

εκπληρώνεται
δεν εκπληρώνεται
εκπληρώνεται περιστασιακά

	Cables with halogen containing insulation and sheath				Halogenfree cables			
	1 Competitor TPC H07RN4-F1	2 Competitor LSK H07BN4-F	3 Pirell Preflex PFL H07RN4-F1	4 Pirell TECWIND FTW H07BN4-F1	5 Competitor FCL S07ZZ-F1	6 Competitor DWF H07RN4-F1	7 Pirell TECWIND FTW H07ZZ-F1	8 Pirell TECWIND FTW S1ZZ-F1
- Sheath								
Rating 90°C	ja	Prüfung offen	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Rating 120°C	nicht geprüft	nicht geprüft	nicht geprüft	nicht geprüft	nicht geprüft	nicht geprüft	nicht geprüft	ja
#NAME?								
Temperature								
-35°C	gehalten	Prüfung offen	gehalten	gehalten	gehalten	gehalten	gehalten	gehalten
-35°C	gebrochen	Prüfung offen	gebrochen	gehalten	gebrochen	gebrochen	gehalten	gehalten
-40°C	geplatzt	Prüfung offen	gebrochen	gebrochen	gebrochen	gebrochen	gehalten	gehalten
	in mehrere Teile							
- Cold Impact								
Temperature								
-35°C	gehalten	Prüfung offen	gehalten	gehalten	gehalten	gehalten	gehalten	gehalten
-35°C								
-40°C	gehalten	Prüfung offen	gehalten	gehalten	gehalten	gehalten	gehalten	gehalten
- Torsion								
Result: Broken wires <25%	nicht gehalten	nicht gehalten	nicht gehalten	gehalten	nicht gehalten	gehalten	gehalten	gehalten
- Abrasion Sheath/Sheath								
Cycles								
10000	nicht gehalten	nicht gehalten	gehalten	gehalten	gehalten	gehalten	gehalten	gehalten
20000	---	---	gehalten	gehalten	gehalten	gehalten	gehalten	gehalten

Σχήμα 8: Σύνοψη χαρακτηριστικών των καλωδίων της σειράς TECWIND, σε σύγκριση με ανταγωνιστικά προϊόντα.

Τα προϊόντα TECHNERGY, ως προϊόντα υψηλής τεχνολογίας που βασίζονται στην high tech πρώτη ύλη ελαστικό (καουτσούκ) ως μονωτικό υλικό, δεν εμπεριέχουν το ευάλωτο PVC και δεν συγκρίνονται με άλλα κοινά καλώδια που υπάρχουν στην αγορά. Προσφέρουν λύση και ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στο χρήστη τους λόγω της μεγάλης ανθεκτικότητας και απόδοσής τους. Τα καλώδια για αιολικά πάρκα της PRYSMIAN της σειράς TECHNERGY καλύπτουν όλα τα είδη εφαρμογών.

TECWIND: Είναι καλώδια βασισμένα σε ελαστική μόνωση, χαμηλής και μέσης τάσης για εγκατάσταση εντός του κορμού των ανεμογεννητριών και για σύνδεση με το κυρίως σώμα της τουρμπίνας. Τα καλώδια τύπου TECWIND είναι σχεδιασμένα ειδικά για ελεύθερη ανάρτηση μέσα στο κορμό των ανεμογεννητριών, προσφέροντας υψηλή μηχανική αντοχή σε στρεπτικές τάσεις. Αυτό μεταφράζεται σε υψηλότερη αξιοπιστία και διάρκεια ζωής του καλωδίου/συστήματος. Τα καλώδια είναι κατάλληλα τόσο για χαμηλές όσο και για υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος χάρη στο ειδικό μείγμα μονώσεων που διαθέτουν.

XLPE: είναι καλώδια με μόνωση δικτυωμένου πολυαιθυλενίου, καλώδια μέσης τάσης για τη μεταφορά της ενέργειας στο δίκτυο.

Τα καλώδια της σειράς TECHNERGY πληρούν όλες τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις. Χάρη στα ειδικά μείγματα που ανέπτυξε η PRYSMIAN για τη μόνωση και το μανδύα, τα καλώδια αυτά είναι ελεύθερα αλογόνων, χαμηλών εκπομπών καπνού και ανθεκτικά στο ψυχρό ενώ, σε περίπτωση φωτιάς, δεν εκλύονται ουσίες επιβλαβείς για τον άνθρωπο και τις ηλεκτρονικές συσκευές.