

ForestValue

hardwood_joint

Essais de portance locale sur le bouleau

Rapport d'exécution

Thibault

BENISTAND

2020



Avant-propos

Dans ce rapport ne figure pas les essais à 45 ° par rapport au fil, ces essais n'ont pas été conduits car la personne en charge de cette partie est tombée en longue maladie.

En comparant les résultats d'essais obtenus sur le bouleau avec les résultats obtenus sur le chêne et le hêtre dans le cadre de l'ANR EFFEUR 5, une très grande similitude est néanmoins apparue. Aucun frein scientifique ne s'oppose à étendre les lois d'extrapolation obtenues pour les bois feuillus dans le cadre de l'ANR au bois de bouleau. Ce constat présenté dans une publication (fruit du programme EFFEUR5 et HARD WOOD JOINT) a fait l'unanimité des observations lors de la présentation fin août 2020 au 53^{ème} rencontres du Réseau International de Recherche sur la Construction Bois INTER de l'ensemble de ces travaux.

Sommaire

1	Protocole d'essais	1
1.1	Normes	1
1.2	Montage	1
1.3	Sections, matériaux et dimensions	3
1.4	Dispositifs de mesure.....	4
1.5	Données d'essais complémentaires.....	5
1.6	Cycle de chargement	7
1.7	Méthode d'analyse des essais expérimentaux.....	8
1.8	Analyse statistique des données expérimentales	10
2	Résultats des essais	13
2.1	Effet de l'aspect visuel des bois sur la résistance à l'enfoncement	13
2.2	Synthèse des résultats des tests	14
2.3	Résistance à l'enfoncement parallèle au sens du fil	14
2.4	Résistance à l'enfoncement perpendiculaire au fil.....	15
2.5	Courbes d'essais.....	16
2.6	Courbes d'essais.....	17
2.7	Tableau de synthèse des résultats.....	88
3	Bibliographie	95

1 Protocole d'essais

Le protocole suivant décrit l'ensemble des principes mis en place pour réaliser les essais de portance selon les différents angles (0, 90°) et pour les différents diamètres 12, 16 et 20 mm.

1.1 Normes

Les essais de portance locale, ainsi que la détermination des propriétés physiques associées, sont encadrés par le corpus réglementaire suivant :

EN 383 [87] : Définition des protocoles d'essais et des précisions de mesures requises.

EN 384 [28] : Détermination des valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques et de la masse volumique.

EN 13183-1 [71] : Détermination par la méthode de dessiccation de la teneur en humidité des pièces de bois sciées.

EN 14358 [30] : Détermination des valeurs caractéristiques.

1.2 Montage

La Figure 1-1 expose le principe du montage utilisé pour la réalisation des essais de portance selon les deux directions principales : 0 et 90°. Le montage de portance comporte deux mors latéraux en acier qui viennent encaster la tige d'assemblage, limitant ainsi sa déformation par flexion.

Les cibles utilisées pour l'acquisition vidéo sont disposées sur les deux faces de l'éprouvette. Un premier ensemble de cibles est fixé au bâti et matérialise le repère de mesure alors que les autres cibles sont collées directement sur l'éprouvette et permettent de suivre le déplacement de l'éprouvette dans le repère précédemment défini.

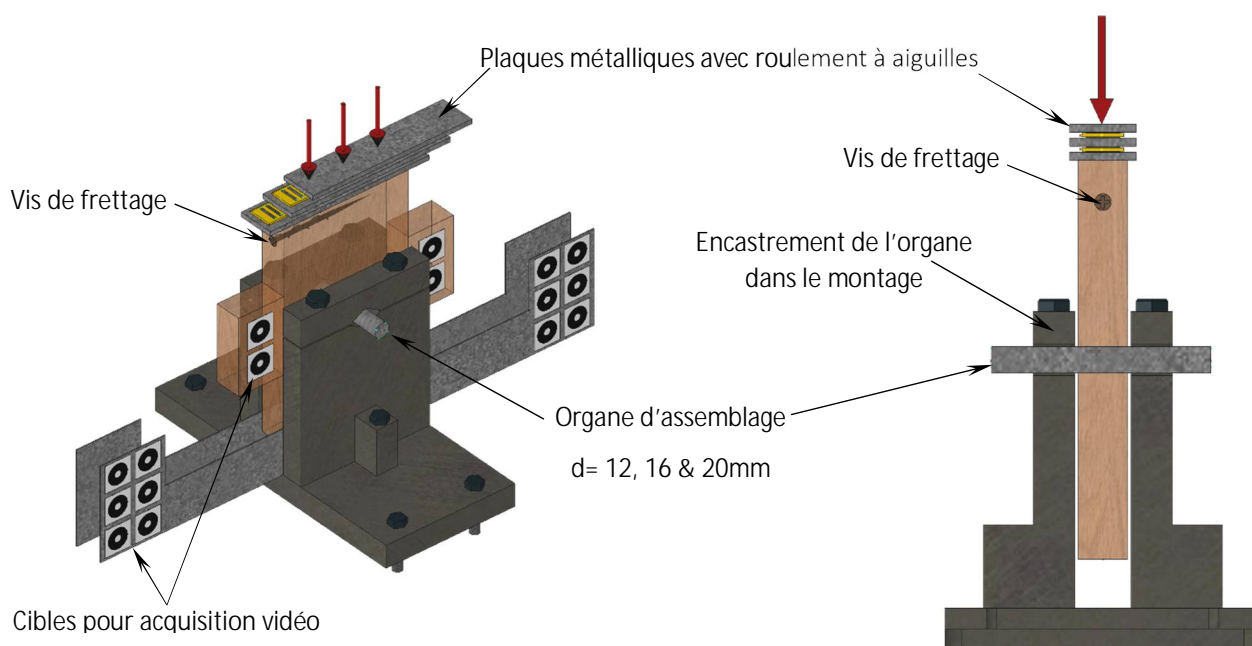


Figure 1-1 Vue du montage des essais de portance locale à 0 & 90°.

Un système de plaques métalliques rectifiées et de roulements linéaires permet de laisser libre le déplacement horizontal de l'éprouvette ce qui est indispensable pour ne pas biaiser le résultat des essais de portance à l'angle.

Dans l'optique d'utiliser les essais d'enfoncement dans des modèles par éléments finis, le palier plastique doit être le plus représentatif possible. Pour limiter l'ouverture de fissures en traction transversale dans les essais à 0°, les éprouvettes sont frettées par une vis de renfort. Des essais préliminaires ont démontré que la vis permettait une phase de plastification plus importante (pouvant atteindre 10 mm d'enfoncement dans le bois pour les essais à 0°) contrairement aux éprouvettes non frettées (qui cassent à un enfoncement généralement proche de 5 mm). Les 15 essais préliminaires ont montré que la vis de frettage, n'a statistiquement pas d'impact sur la valeur de la portance à 5 mm ou de la raideur en phase élastique.

1.3 Sections, matériaux et dimensions

Les dimensions des éprouvettes sont fixées par l'EN 383 [87] au travers de schémas de principe rappelés dans la Figure 1-2. Les dimensions minimales l_1 et a_1 sont rappelées dans le Synthèse des dimensions d'éprouvettes Tableau 1-1. Normativement, l'épaisseur des éprouvettes doit être comprise entre $1,5d$ et $4d$. Pour valider ce critère tout en limitant la quantité d'usinages différents, il est retenu une épaisseur de 30mm pour les broches de diamètre 12 mm et 35 mm d'épaisseur pour les organes de diamètre 16 et 20 mm.

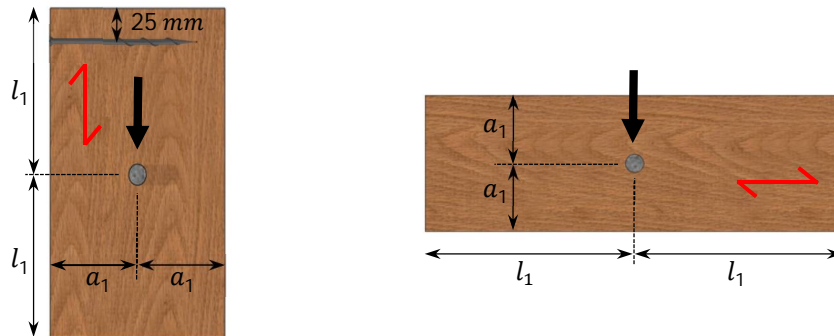


Figure 1-2 Dimensions des éprouvettes selon EN 383.

Tableau 1-1 Synthèse des dimensions d'éprouvettes

Angles [°]	0	90
l_1	7.d	20.d
a_1	3.d	5.d

Avant usinage, les bois sont conditionnés durant une période suffisamment longue (3 semaines au minimum) à une température de 20 °C et une humidité relative de 65 % pour tendre vers une humidité des bois aux alentours de 12 %. L'humidité a été régulièrement vérifiée à l'aide d'un humidimètre à pointe.

Pour les essais à 0° et 90°, 45 essais pour chaque configuration d'angle et de diamètre sont réalisés afin de permettre un traitement statistique optimal des données.

Différentes références bibliographiques ont mis en avant l'impact de la rugosité des organes d'assemblage sur les résultats des essais de portance. Il est donc décidé d'utiliser des organes d'assemblages similaires à ceux pouvant être mis en place dans les chantiers de construction bois. Au regard des valeurs d'intensité de portance locale conséquente relevées dans de précédentes campagnes expérimentales réalisées au laboratoire, il a été choisi d'utiliser des organes avec une limite plastique élevée, ce qui permettrait dans le cadre d'un calcul d'assemblage, de maximiser la résistance de ce dernier. Les broches utilisées sont donc en acier galvanisé de classe 8.8 (Figure 1-3) et sont obtenues chez un fournisseur d'entreprise de la construction bois.



Figure 1-3 Aspect des broches utilisées pour les essais d'enfoncement.

1.4 Dispositifs de mesure

Les essais sont réalisés sur une machine d'essais universelle (ZWICK Z250).

La mesure des efforts au niveau du point de chargement se fait au moyen d'une cellule de force de 250 kN avec une précision de (± 0.01 kN) en adéquation avec les spécifications fixées par la norme.

La mesure des déplacements est réalisée par une acquisition vidéo avec une caméra de marque VDM ACQUISITION au format A3 à 1,0 m de distance. Les essais préliminaires montrent une précision de l'ordre de 0,01 mm, en adéquation avec la précision de 0,02 mm pour des déplacements inférieurs à 2 mm. Il est mis en place une caméra sur chaque face de l'éprouvette afin de mesurer le déplacement moyen et de s'affranchir de tout problème de rotation.

L'organisation du dispositif de mesure est explicitée par la Figure 1-4. En réglant des pas de temps similaires pour l'enregistrement des données sur la machine universelle et l'acquisition caméra par l'utilisation d'un trigger, les données fournies sont enregistrées de manière synchronisée à l'effort appliqué.

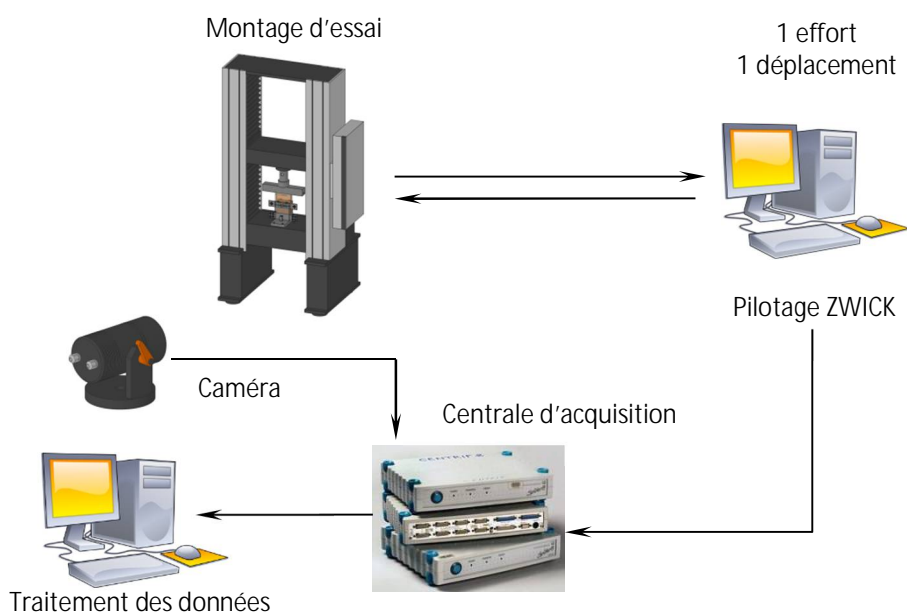


Figure 1-4 Schéma directeur de l'instrumentation mise en place.

1.5 Données d'essais complémentaires

Avant les essais, les dimensions de l'éprouvette sont contrôlées à partir d'une moyenne de 2 mesures de toutes les dimensions prises à chaque extrémité avec un pied à coulisse numérique GARANT DC2.

La masse des échantillons est mesurée juste avant les essais. Cette masse combinée aux dimensions permet de calculer la masse volumique globale de l'éprouvette. Il est rappelé que pour les essais à 45°, la masse volumique est mesurée avant collage des éprouvettes.

L'humidité des bois est mesurée par méthode dessicative selon la norme NF EN 13183-1 [71]. Pour les essais à 0°, l'éprouvette est séchée dans son intégralité alors que pour les essais à 90°, une zone centrale de 20 cm de longueur est extraite de l'éprouvette. Le séchage est réalisé sous une ambiance de 103 ± 2 °C. La stabilisation est atteinte lorsque la différence de masse entre deux pesées est inférieure à 0,1 % (précision de 0,01 g), avec une durée minimale de séchage de 7 jours.

La pente de fil est mesurée avec un rapporteur d'angle en arrondissant par palier de 2,5°. La Figure 1-5 montre l'incidence de cette mesure sur l'angle réel entre l'effort et le sens du fil du bois.

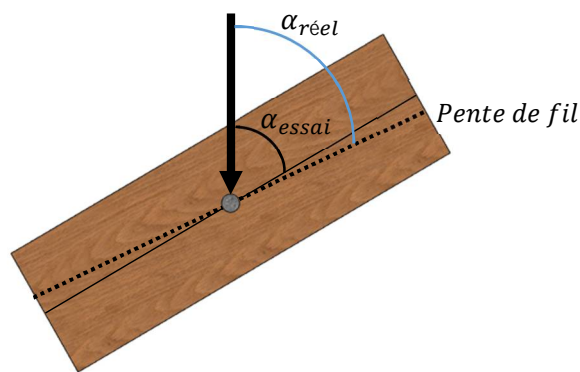


Figure 1-5 Mesure de la pente de fil.

L'orientation des cernes par rapport au sens de l'effort est renseignée au moyen d'un des trois types de débit indiqués sur la Figure 1-6. Cette donnée n'est pas quantifiée pour les éprouvettes à un angle de 0°, car elle n'a pas d'utilité dans cette configuration.

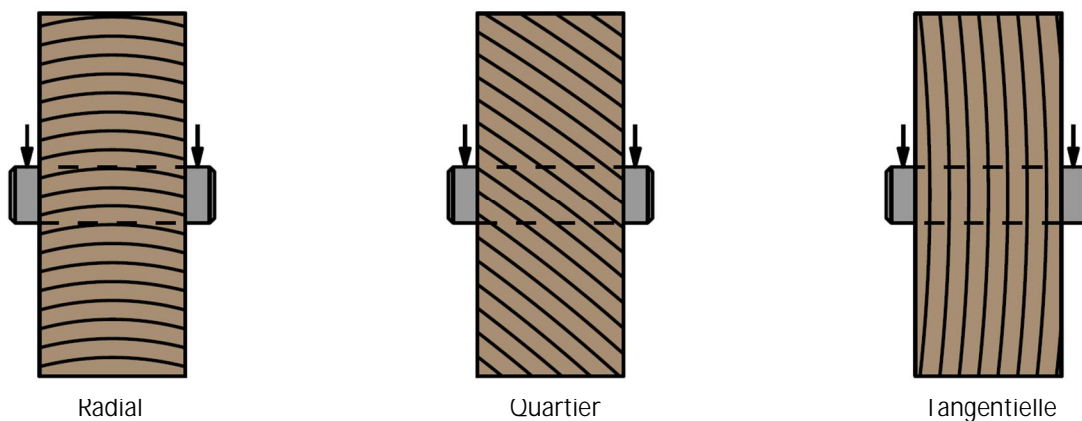


Figure 1-6 Type de débit pour les éprouvettes à 90°.

Le débit des éprouvettes a mis en évidence une coloration du bois au niveau du cœur de l'arbre. Cette coloration s'accompagne dans certain cas d'une fissuration importante des éprouvettes. Cette information est renseignée au moyen d'une des trois classes de qualité de l'éprouvette imagée par la Figure 1-7.



Coeur rouge fissuré



Coeur rouge



Bois sans défaut

Figure 1-7 Classes de qualité des éprouvettes de bouleau.

1.6 Cycle de chargement

Pour l'ensemble des essais, le cycle d'essais et les différentes vitesses de chargement suivent les recommandations de la norme EN 383 [87], rappelées au travers de la Figure 1-8. Le cycle est constitué des éléments suivants :

- la force $F_{max,est}$ correspond à l'effort théorique maximal obtenu pour 5 mm de déformation dans le bois. Il est, dans un premier temps, calculé à partir de la bibliographie puis corrigé au bout de 5 essais s'il diffère trop de la mesure du F_{max} ,
- application d'une première rampe de chargement jusqu'à $0,4 F_{max,est}$, seuil de chargement qui est maintenu pendant 30 secondes après l'avoir atteint,
- décharge jusqu'à $0,1 F_{max,est}$, seuil de chargement qui est maintenu pendant 30 secondes après l'avoir atteint,
- deuxième rampe de chargement jusqu'à atteindre un enfoncement de 5 mm pour obtenir F_{max} . Cette dernière rampe doit s'effectuer à une vitesse de chargement suffisante pour permettre d'arriver à la charge F_{max} en 300 ± 120 secondes.

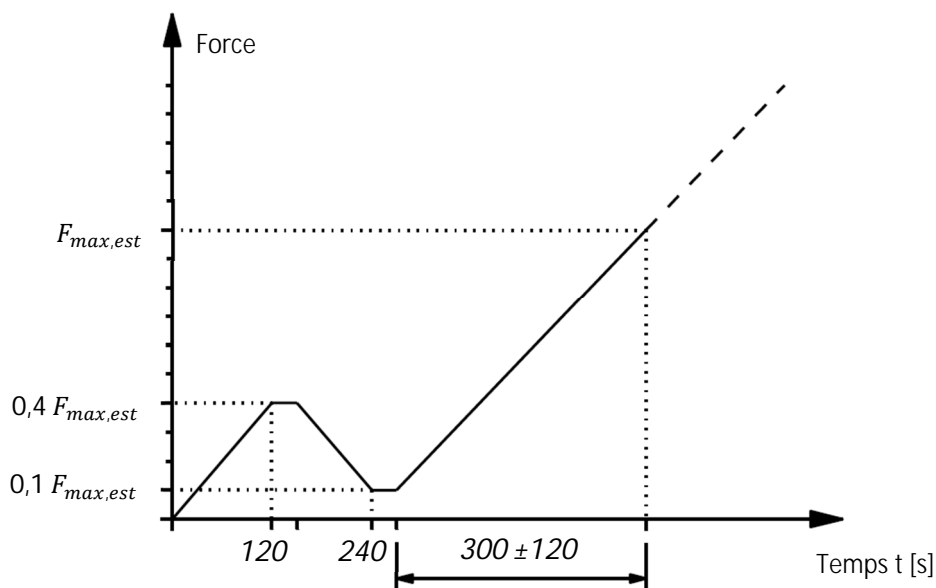


Figure 1-8 Cycle de charge selon EN 383 [87]

Pour extraire des lois d'enfoncement pouvant être intégrées dans des modèles de calcul par éléments finis, contrairement aux préconisations de l'EN383, l'essai n'est pas stoppé pour un enfoncement de 5 mm. Passée cette limite de 5 mm, l'enfoncement se poursuit selon la même vitesse de chargement pour atteindre un déplacement vertical de la traverse d'au minimum 15 mm.

Une dizaine d'essais préliminaires a montré que réduire la durée des paliers à 10 s et qu'augmenter la vitesse pour atteindre les 5 mm d'enfoncement en 300 ± 120 seconde n'avait pas statistiquement d'incidence sur les résultats.

1.7 Méthode d'analyse des essais expérimentaux

1.7.1 Synchronisation des données force et déplacement

Le début de l'acquisition des données par les caméras et la machine d'essais est synchronisée au moyen du déclenchement d'un signal électrique aussi dénommé Trigger. Si les fréquences d'acquisition des données sont initialement fixées à 5Hz, il est courant d'observer une légère dérive de la période entre deux images au niveau des caméras. Cette dérive est inexistante au niveau des mesures de la force provenant de la machine d'essais universelle.

Les données de force et de déplacement sont à nouveau synchronisées sur l'ensemble de la durée de l'essai. Pour corriger les données expérimentales, une interpolation linéaire est réalisée entre pas de temps successifs pour recaler les forces et déplacements selon le pas de temps fixe de 0.2s. Le principe de l'interpolation est présenté dans le Tableau 1-2.

Tableau 1-2 Méthode d'interpolation linéaire pour corriger la dérive du pas de temps des mesures.

t_f	F	t_δ	δ	t	F_{sync}	δ_{sync}
$t_{f,1}$	F_1	$t_{\delta,1}$	δ_1	t_1	$F_1 + \frac{(F_2 - F_1)}{(t_{f,2} - t_{f,1})} (t_1 - t_{f,1})$	$\delta_1 + \frac{(\delta_2 - \delta_1)}{(t_{\delta,2} - t_{\delta,1})} (t_1 - t_{\delta,1})$
$t_{f,2}$	F_2	$t_{\delta,2}$	δ_2	$t_2 = t_1 + 0.2$	$F_1 + \frac{(F_2 - F_1)}{(t_{f,3} - t_{f,2})} (t_2 - t_{f,2})$	$\delta_2 + \frac{(\delta_3 - \delta_2)}{(t_{\delta,3} - t_{\delta,2})} (t_2 - t_{\delta,2})$
$t_{f,i}$	F_i	$t_{\delta,i}$	δ_i	$t_i = t_{i-1} + 0.2$	$F_i + \frac{(F_{i+1} - F_i)}{(t_{f,i+1} - t_{f,i})} (t_i - t_{f,i})$	$\delta_i + \frac{(\delta_{i+1} - \delta_i)}{(t_{\delta,i+1} - t_{\delta,i})} (t_i - t_{\delta,i})$

t_f : Temps de la mesure de la force

F : Valeur de la force mesurée

t_δ : Temps de la mesure du déplacement

δ : Valeur de déplacement mesuré

t : Pas de temps fixe de 0,2s

F_{sync} : Valeur de la force synchronisée sur le pas de temps fixe

δ_{sync} : Valeur du déplacement synchronisé sur le pas de temps fixe

1.7.2 Exploitation des courbes d'essais

La Figure 1-9 représente une courbe type d'un essai d'enfoncement ainsi que l'ensemble des paramètres déterminés à partir des mesures de force et déplacement. Les forces mesurées F [N] sont converties en portance f_h [MPa] en fonction du diamètre d [mm] de l'organe et de l'épaisseur t [mm].

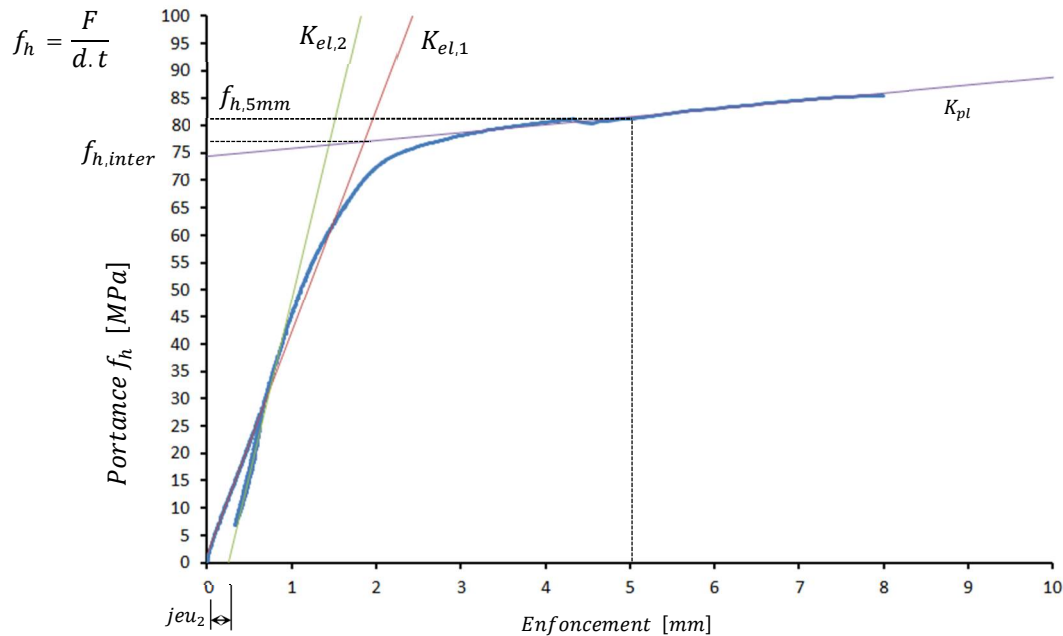


Figure 1-9 Courbe type des essais d'enfoncement.

Les différentes grandeurs mesurées expérimentalement et présentées sur la courbe de la Figure 1-9 sont obtenues de la manière suivante :

$K_{el,1}$: Raideur de fondation élastique entre 10 et 40% de la charge $F_{max,est}$ obtenue par régression linéaire entre ces deux bornes, exprimée en MPa/mm .

$K_{el,2}$: Raideur de fondation de décharge entre 40 et 10% de la charge $F_{max,est}$ obtenue par régression linéaire entre ces deux bornes, exprimée en MPa/mm .

K_{pl} : Raideur de fondation plastique entre 2,5mm d'enfoncement et la fin de l'essai obtenue par régression linéaire entre ces deux bornes, exprimée en MPa/mm .

$f_{h,5mm}$: Portance locale pour 5mm d'enfoncement. Elle s'obtient soit à partir de l'effort maximal lors de l'essai, si l'enfoncement n'atteint pas les 5mm, soit à partir de la fonction K_{pl} définie précédemment en fixant $x = 5mm$.

$f_{h,inter}$: Portance locale à l'intersection de $K_{el,1}$ et K_{pl} obtenue à partir des équations des deux courbes.

$f_{h,xmm}$: Portance locale pour X mm d'enfoncement, X pouvant prendre comme valeur 1 ou 2 mm.

jeu_1 et jeu_2 : Jeux initiaux pour les courbes $K_{el,1}$ et $K_{el,2}$. Ils sont obtenus en fixant $f_h = 0,1 MPa$ dans les équations respectives des courbes de charge et de décharge entre 10 et 40 % de F_{max} . La différence $jeu_2 - jeu_1$ exprime la déformation plastique acquise par le bois entre 10 et 40 % de la charge.

1.7.3 Correction des résultats en fonction de l'humidité

Conformément à l'EN 384 [28], il convient de corriger la masse volumique pour la ramener à une humidité de référence de 12 % :

$$\rho = \rho(u) [1 - 0,005 (u - u_{ref})] \quad \text{pour } 8 \% < u < 18 \% \quad \text{avec } u_{ref} = 12 \% \quad (1-1)$$

Malgré une incidence indéniable de l'humidité sur la portance locale, à ce jour, la réglementation n'impose pas de corriger la portance en fonction de l'humidité. Néanmoins, tout comme l'a fait SANDHAAS [93], il est proposé de calquer le facteur correctif de la portance sur celui de la compression axiale présentée dans l'EN 384, à savoir :

$$F_{c,0} = F_{c,0}(u) [1 + 0,03 (u - u_{ref})] \quad \text{pour } 8 \% < u < 18 \% \quad \text{avec } u_{ref} = 12 \% \quad (1-2)$$

Les essais de HUBNER & All [92] ont montré que la portance à 90° diminue de 3 % par % d'humidité. Ce faisant, il est pris en compte un critère global de correction de la portance selon n'importe quel angle entre l'effort et le fil du bois :

$$F_{h,\alpha}(12\%) = F_{h,\alpha}(u) [1 + 0,03 (u - u_{ref})] \quad \text{pour } 8 \% < u < 18 \% \quad \text{avec } u_{ref} = 12\% \quad (1-3)$$

Afin de proposer des équations pour le calcul des structures, l'équation moyenne de la résistance à l'enfoncement en fonction du diamètre et de la densité sera estimée pour chaque angle et chaque espèce. Ensuite, ces équations moyennes seront transformées en équation caractéristique selon la même méthode utilisée par EHLBECK & WERNER (EHLBECK & WERNER, 1992), et plus récemment par HUBNER et all (U. HUBNER, T. BOGENSPERGER, & G. SCHICKHOFER, 2008). De ce point de vue, le facteur γ est calculé selon l'équation (1-4) pour ajuster la courbe de la régression linéaire en fonction du coefficient de variation de la densité et de la résistance à l'enfoncement. L'équation caractéristique est obtenue en multipliant l'équation moyenne par le coefficient de correction γ .

$$\gamma = \frac{x(P = 0.05|N(\mu; COV_{fh}))}{x(P = 0.05|N(\mu; COV_{\rho}))} \quad (1-4)$$

1.8 Analyse statistique des données expérimentales

L'expression des valeurs caractéristiques au fractile de 5 % et des valeurs moyennes caractéristiques est réalisée en suivant les prescriptions données par l'EN384 (§5.5.1) qui demande d'utiliser les méthodes de calcul définies dans l'EN 14358 [70], méthodes explicitées dans la suite du texte. Ces valeurs doivent conformément aux prescriptions de l'EN 1990 être exprimée avec un niveau de confiance de 75 %.

Les masses volumiques moyennes et les portances locales moyennes sont exprimées dans le tableau de synthèse de résultats dans le Tableau 2-2 comme des moyennes caractéristiques. Les autres valeurs moyennes du tableau restent des moyennes arithmétiques.

En fonction du nombre d'essais et de la distribution des résultats, la norme offre deux possibilités pour le calcul des valeurs caractéristiques au fractile de 5 % : la méthode paramétrique et la méthode non paramétrique.

1.8.1 Valeur caractéristique - méthode non paramétrique

Cette méthode ne s'applique que si le nombre d'éprouvettes est supérieure à 40, la méthodologie est alors la suivante :

- Classement des essais selon un ordre croissant et extraction de la valeur correspondant à 5 % de la fréquence d'apparition : $y_{0,5}$

- Détermination du facteur donnant la limite inférieure de tolérance à 5 % avec un niveau de confiance de 75 % :

$$k_{0.5,0.75} = \frac{0.49n+17}{0.28n+7.1}$$
- Calcul de la valeur caractéristique à partir de l'équation : $m_k = y_{0.5} \left(1 - \frac{k_{0.5,0.75} V}{\sqrt{n}}\right)$ avec V le coefficient de variation.

1.8.2 Valeur caractéristique - méthode paramétrique

Dans le cadre de campagnes d'essais comportant moins de 40 échantillons, ou dès lors que la distribution des propriétés mesurées suit un modèle de distribution statistique normale ou log normale, il convient de déterminer les valeurs caractéristiques à partir de modèles paramétrés. La norme indique qu'en général, les mesures de résistance suivent une distribution selon une loi Log-Normale alors que pour les masses volumiques et les modules d'élasticité, la distribution des données est définie comme étant normale. Néanmoins, le choix de l'une des deux distributions sera justifié à partir du résultat d'un test de la normalité des données expérimentales (test de Shapiro).

Dans le cas de la distribution Normale ou Log-normale, il faut déterminer le facteur donnant la limite inférieure de tolérance à p% avec un niveau de confiance de $\alpha\%$: $k_s(n) = \frac{k_\alpha(n)}{\sqrt{n}}$

Avec $k_\alpha(n)$ le fractile d'ordre $\alpha\%$ selon une distribution t non centrée avec $n-1$ degrés de liberté et un paramètre de non-centralité $\lambda = u_{1-p}\sqrt{n}$

Et u_{1-p} le fractile d'ordre $(1-p)$ de la fonction de distribution normale.

Ces paramètres sont définis à partir du logiciel statistique R développé par la société CRAN.

Par exemple, le coefficient k_s d'une valeur caractéristique à 5% avec un niveau de confiance de 75 % pour 10 essais est calculé tel que :

Loi normale $u_{1-5\%} : u_{95\%} = 1,644854$

$\lambda = 1,644854 \sqrt{10} = 5,201484$

La loi t excentrée de $\lambda : k_{75\%}(10) = 6,652381$

$k_s(10) = \frac{k_\alpha(10)}{\sqrt{10}} = \frac{6,652381}{\sqrt{10}} = 2,103668$

Ce qui donne le même résultat que celui tabulé dans tableau 1 de l'EN 14358.

Dans le cas de la distribution Log-normale, la méthode de détermination de la valeur caractéristique est la suivante :

- Détermination de la valeur moyenne : $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum \ln m_i$
- Détermination de l'écart-type : $s_y = \max \left[0,05 ; \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (\ln m_i - \bar{y})^2} \right]$
- Calcul de la valeur caractéristique à 5 % à partir de l'équation : $m_k = e^{(\bar{y} - k_s(n) s_y)}$

Dans le cas de la distribution normale, la méthode de détermination de la valeur caractéristique est la suivante :

- Détermination de la valeur moyenne : $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum m_i$

- Détermination de l'écart-type : $s_y = \max \left[0,05 \bar{y} ; \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (m_i - \bar{y})^2} \right]$
- Calcul de la valeur caractéristique à 5% à partir de l'équation : $m_k = \bar{y} - k_s(n) s_y$

1.8.3 Valeur moyenne caractéristique

Détermination de la valeur moyenne : $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum m_i$

Détermination de l'écart-type : $s_y = \max \left[0,05 \bar{y} ; \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (m_i - \bar{y})^2} \right]$

Définition du facteur permettant de trouver la valeur caractéristique moyenne avec un niveau de confiance de 75 % :

$$k_s(n) = \frac{t_{\alpha, n-1}}{\sqrt{n}}$$

Avec $t_{\alpha, n-1}$ fractile d'ordre $\alpha\%$ selon une distribution centrée avec $n-1$ degrés de libertés.

Cette valeur est obtenue à partir du logiciel statistique R développé par la société CRAN.

Par exemple, pour un niveau de confiance α de 75 % et 10 échantillons il vient :

$$t_{75\%, 10-1} = 0,7027221 \text{ soit } k_s(n) = \frac{0,7027221}{\sqrt{10}} = 0,2222203$$

Soit le même résultat que dans le tableau 2 de l'EN 14358

La valeur caractéristique moyenne est obtenue par l'équation : $m_{mean} = \bar{y} - k_s(n) s_y$

2 Résultats des essais

Pour chaque essai, les paramètres de masse volumique et de portance locale ont été déterminés. Il en résulte les données retranscrites dans le tableau de synthèse donné en section 2.1. Il est à noter que ces résultats ainsi que les coefficients de variations (COV) sont du même ordre de grandeur que ceux observés couramment en bibliographie.

Les courbes d'essais présentées en sections 2.2 se composent de deux courbes de couleurs (bleu et rouge) représentant chacune un des côtés de l'éprouvette. Les résultats d'essais individuels sont alors déterminés à partir de la courbe moyenne (en noir). Les différentes courbes mettent en évidence le caractère fragile des essais à 0° avec une rupture fragile pouvant intervenir avant les 5mm d'enfoncement imposés par la norme EN383. Les essais à un angle de 90° entre l'effort et le fil du bois mettent quant à eux en avant un comportement ductile du bois en portance locale.

Les tableaux de la section 2.3 donnent pour chaque essai les paramètres de rigidité et de résistance tels que définis dans la section 1.7.2. Ces différents paramètres ont déjà fait l'objet d'un partage d'informations avec les autres membres du projet Forest Value au moyens de la plateforme DIVA : <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:lnu:diva-87945>.

2.1 Effet de l'aspect visuel des bois sur la résistance à l'enfoncement

La Figure 2-1 montre les capacités de résistance à l'enfoncement en fonction des différentes qualités de bouleau. La différence entre le bois clair et le bois teinté ou fissuré est en moyenne de 9,5 % pour un enfoncement parallèle au fil du bois et de 3 % pour un enfoncement perpendiculaire au fil. Les bois simplement teintés semblent avoir des capacités d'enfoncement légèrement plus faibles que les cœurs rouges et les bois fissurés.

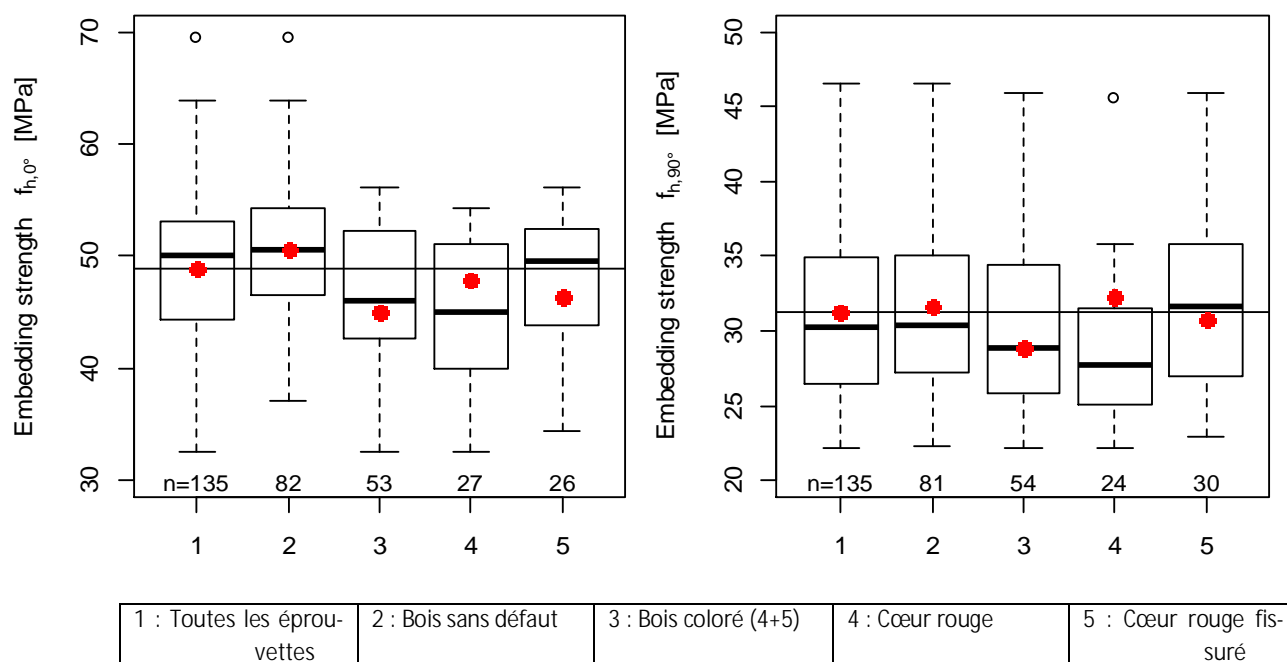


Figure 2-1 Résistance à l'enfoncement parallèle et perpendiculaire au fil comme en fonction de la qualité visuelle des sciages

Le Tableau 2-1 donne les résultats des tests statistiques de Wilcoxon-Mann-Whitney pour chaque angle et chaque diamètre entre le bois sans défaut et le bois coloré ou fissuré. Pour rappel, une valeur p supérieure à 0,05 signifie qu'il n'y a statistiquement pas de différence entre les deux populations testées. D'après les résultats, il n'y a pas de raison de différencier le bois fissuré et coloré des résultats obtenus sur le bois sans défaut (même si cette analyse peut être biaisée par le nombre d'échantillons qui n'est pas le même pour toutes les séries). En conséquence, pour l'analyse finale, toutes les données seront utilisées.

Tableau 2-1 Résultats du test de Wilcoxon entre bois coloré, bois à cœur rouge fissuré et bois sans défaut.

Angle	Diamètre	Cœur rouge	Cœur rouge fissuré	Coloré (4+5)
0	12	0,01	0,95	0,04
	16	0,05	0,19	0,04
	20	0,02	0,64	0,09
90	12	0,55	0,39	0,83
	16	0,00	0,96	0,06
	20	0,07	0,91	0,31

2.2 Synthèse des résultats des tests

Les résultats des essais présentés dans le Tableau 2-2 sont cohérents avec les résultats trouvés dans la littérature pour d'autres bois feuillus. Le coefficient de variation de la densité varie de 5 à 6 %, le coefficient de variation de la résistance à l'enfoncement varie entre 12 et 18 %.

Tableau 2-2 Densité et résistance à l'enfoncement pour chaque configuration.

Espèce	α [°]	d [mm]	N	H [%]	$\rho_{m,12\%}$ [kg/m ³]	$\rho_{k,12\%}$ [kg/m ³]	COV ρ	$f_{h,5mm,moyen}$ [MPa]	$f_{h,5mm,k}$ [MPa]	COV $f_{h,5mm}$
Bou- leau	0°	12	45	10,09%	603	553	5%	50,14	39,92	12%
		16	45	9,52%	609	554	5%	49,40	40,00	12%
		20	45	9,85%	604	549	5%	45,46	34,74	15%
	90°	12	45	10,18%	613	561	5%	35,48	28,11	13%
		16	45	10,19%	611	552	6%	30,09	22,49	18%
		20	45	9,99%	609	554	5%	26,75	21,15	14%

N: Nombre d'éprouvettes

d: Diamètre de la broche

H: Teneur en humidité moyenne

$\rho_{m,12\%}$: Masse volumique moyenne à 12%

$\rho_{k,12\%}$: Masse volumique caractéristique à 12%

$f_{h,5mm,mean}$: Résistance à l'enfoncement moyen

$f_{h,5mm,k}$: Résistance à l'enfoncement caractéristique

2.3 Résistance à l'enfoncement parallèle au sens du fil

L'équation moyenne et l'équation caractéristique de la résistance à l'enfoncement parallèle au fil du bois ont été reportées sur la Figure 2-2 pour être comparées aux équations présentées dans l'EN 1995-1-1 (CEN European Committee for

Standardization, Design of timber structures – Part 1-1: General and rules for buildings, 2004). Par rapport à l'équation actuelle de l'Eurocode, cette nouvelle équation de la résistance à l'enfoncement permet un gain moyen de 8 % de la résistance pour les organes dont le diamètre est compris entre 12 mm et 20 mm. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de modifier l'équation proposée par l'Eurocode pour estimer la résistance à l'enfoncement parallèlement au fil du bois. Néanmoins, la densité proposée dans l'EN 384 (CEN European Committee for Standardization, EN 384 : Structural timber - Determination of characteristic values of mechanical properties and density, 2018) pour le bois dur doit être augmentée afin d'être plus cohérente avec les mesures expérimentales.

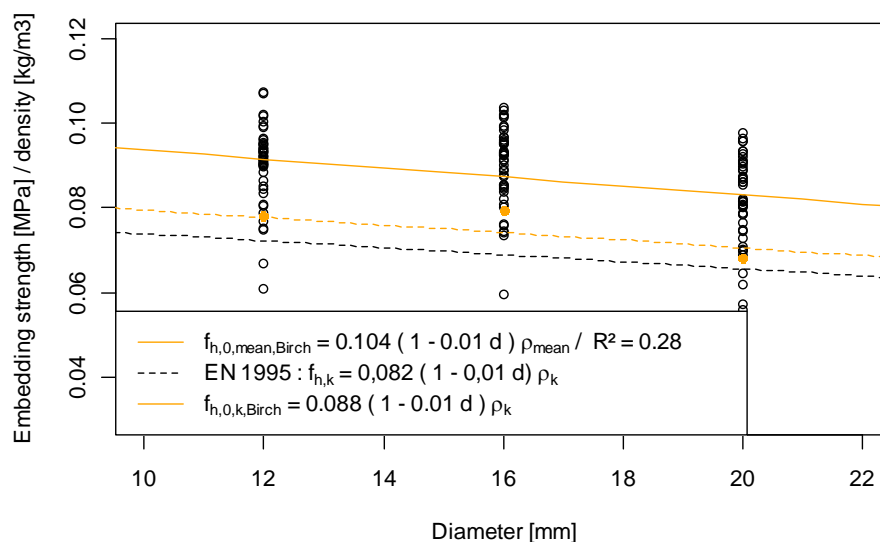


Figure 2-2 Résistance à l'enfoncement parallèle au sens du fil fonction du diamètre de la tige et de la densité.

2.4 Résistance à l'enfoncement perpendiculaire au fil

L'équation moyenne et l'équation caractéristique de la résistance à l'enfoncement perpendiculaire au fil du bois ont été reportées sur la Figure 2-3 pour être comparées aux équations présentées dans la norme EN 1995-1-1 (CEN European Committee for Standardization, Design of timber structures – Part 1-1: General and rules for buildings, 2004). Actuellement, l'équation proposée pour les essences de feuillus surestime de 35 % la résistance à l'enfoncement perpendiculaire au fil alors que l'équation proposée pour les résineux sous-estime de 10 % cette même résistance. Par conséquent, le bouleau doit être considéré comme un bois tendre pour l'estimation de la résistance à l'enfoncement parallèle et perpendiculaire au fil du bois.

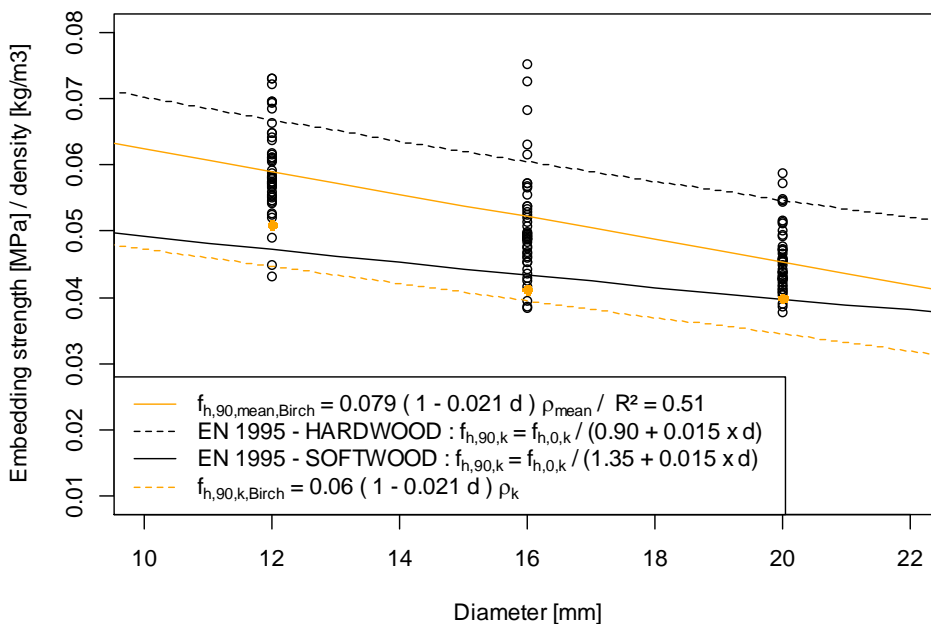


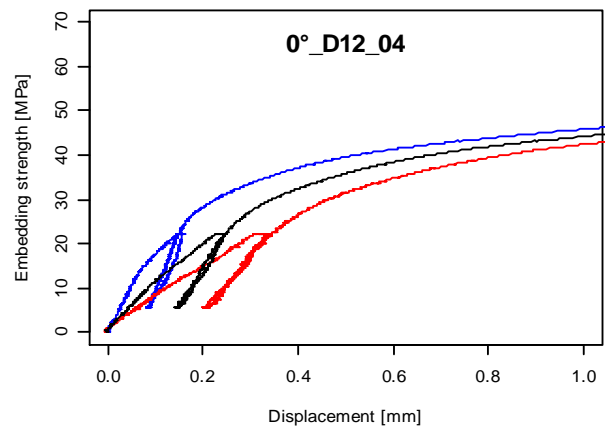
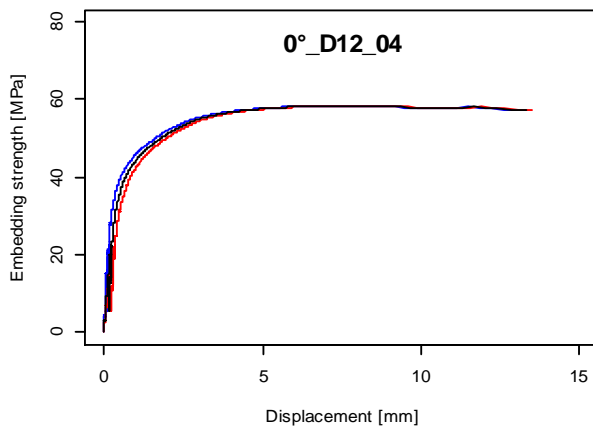
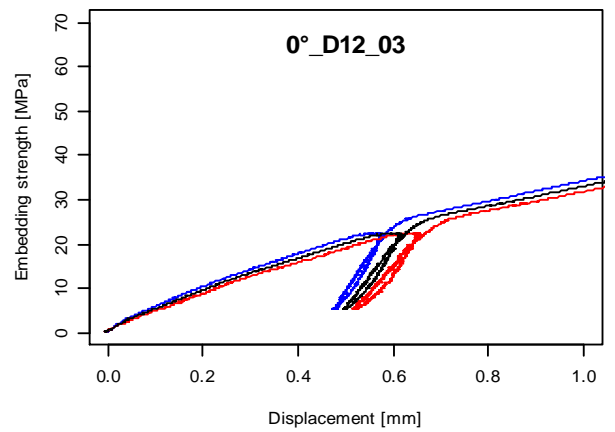
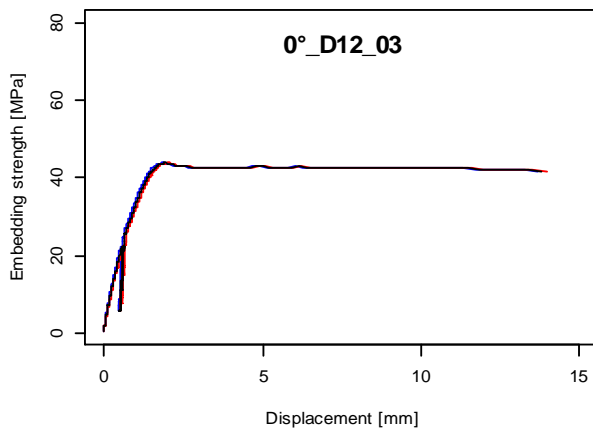
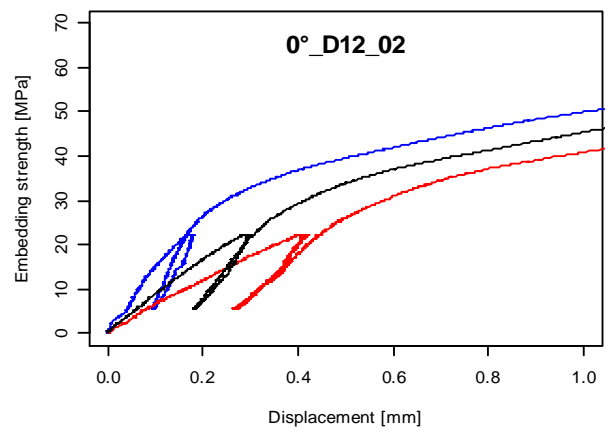
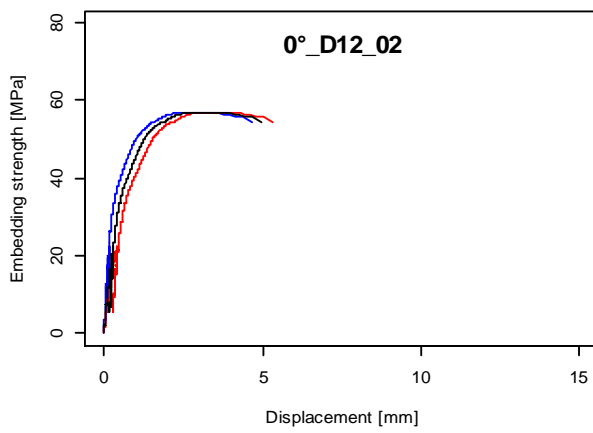
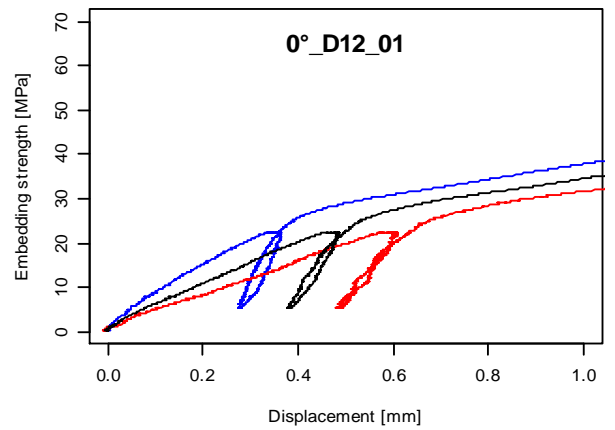
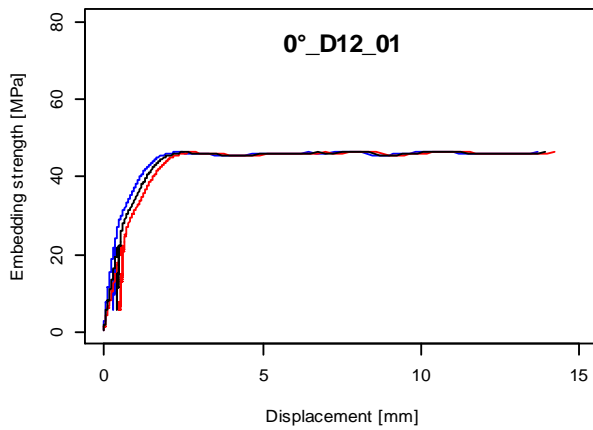
Figure 2-3 Résistance à l'enfoncement perpendiculaire au fil en fonction du diamètre et de la densité.

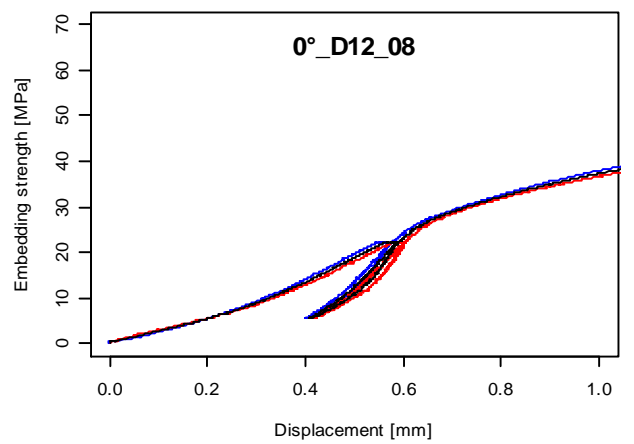
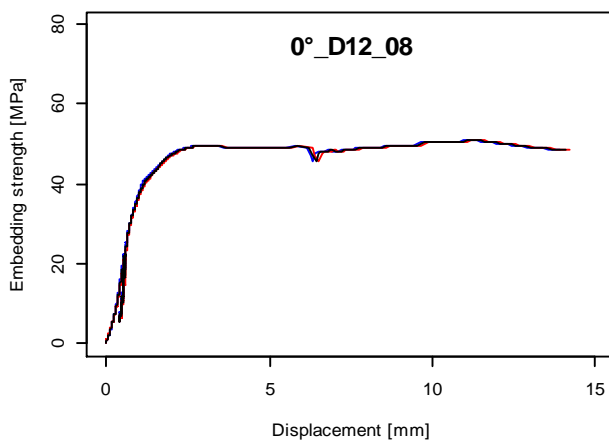
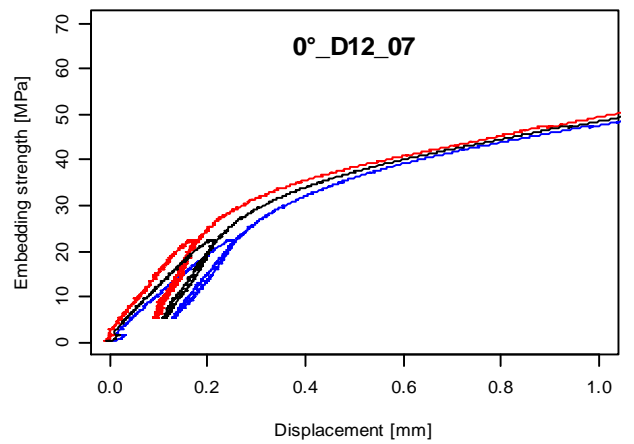
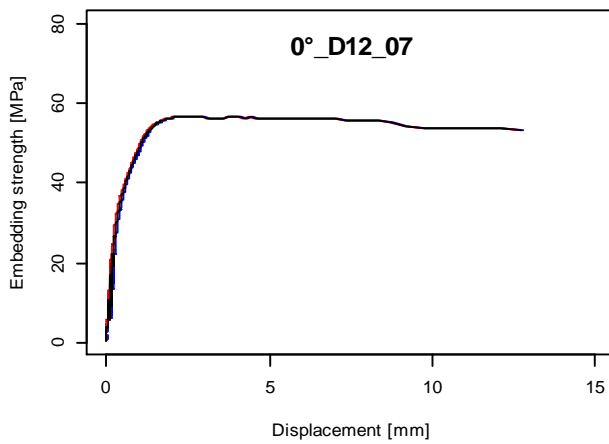
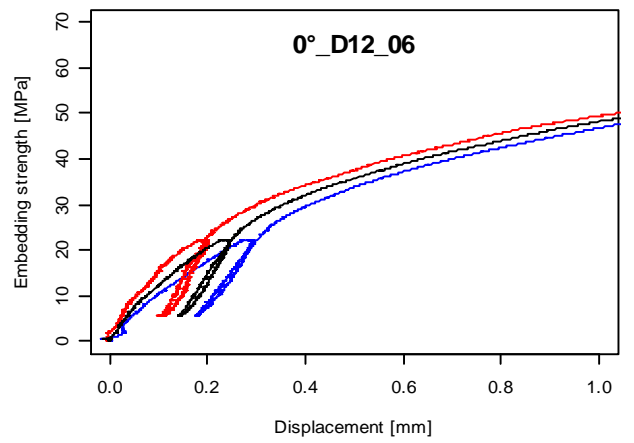
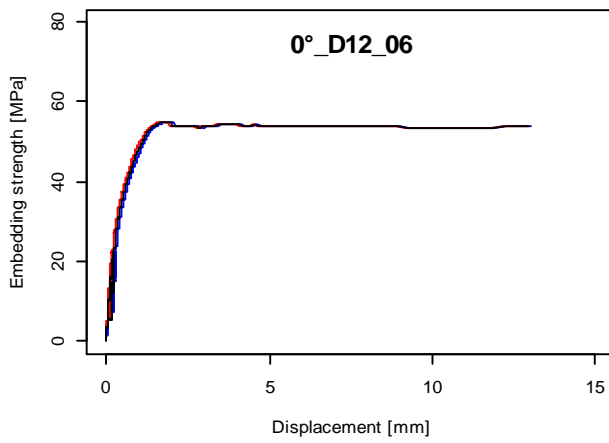
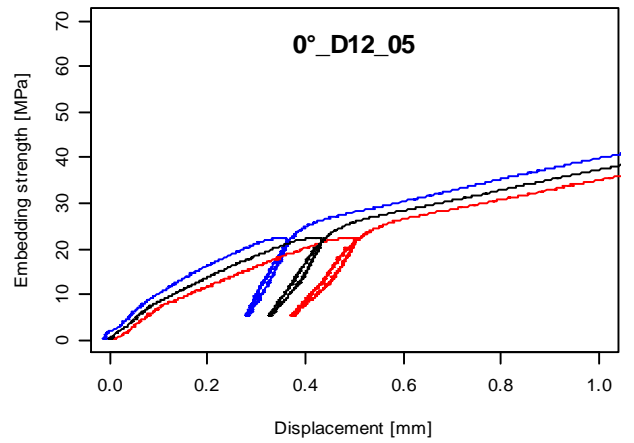
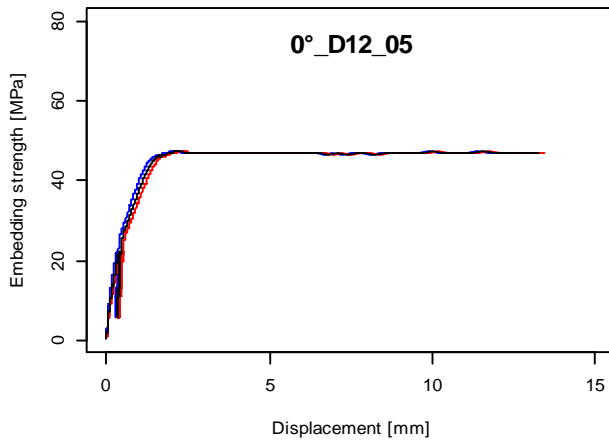
2.5 Courbes d'essais

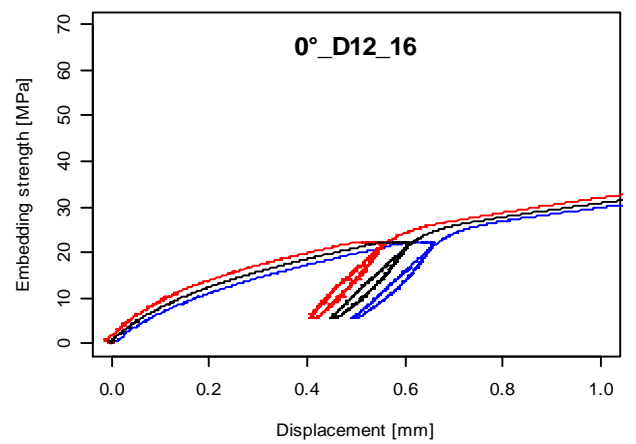
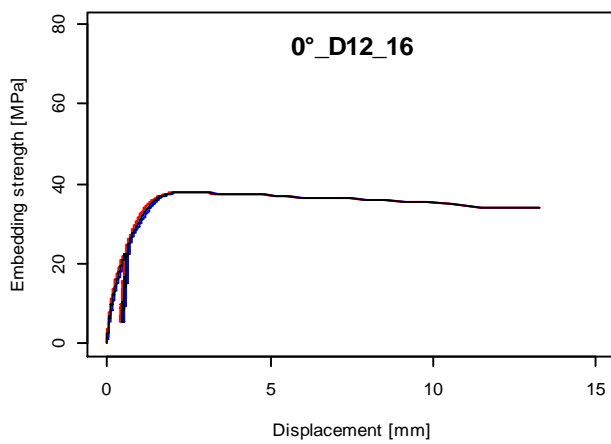
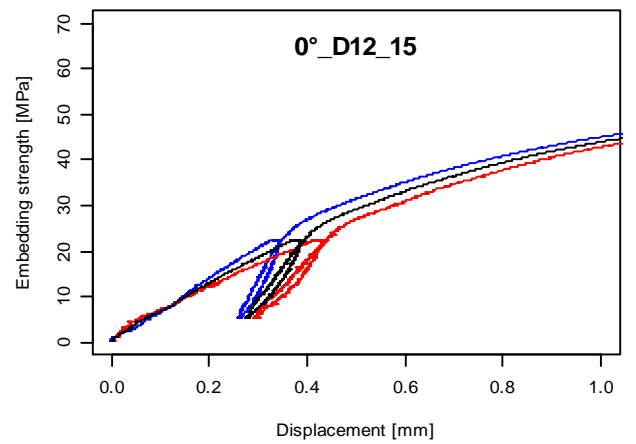
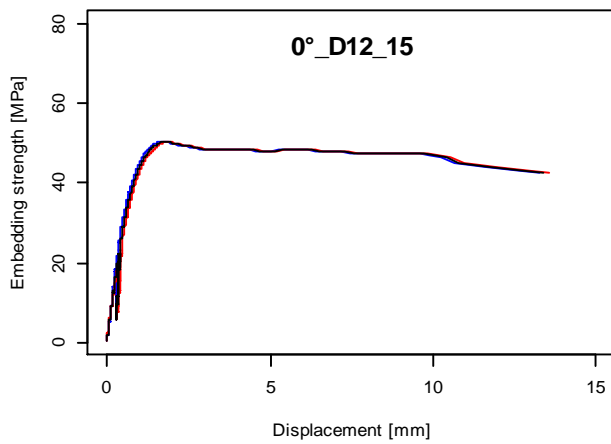
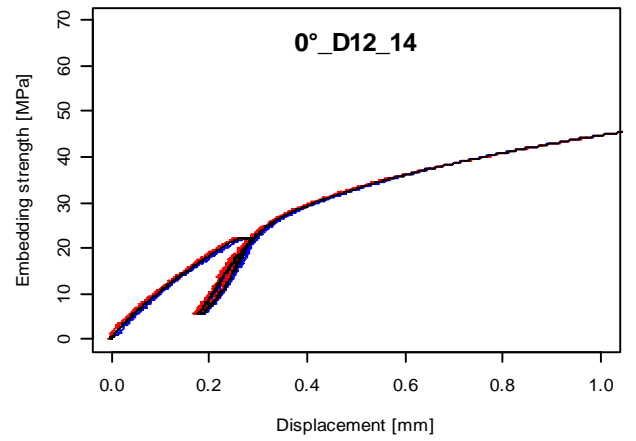
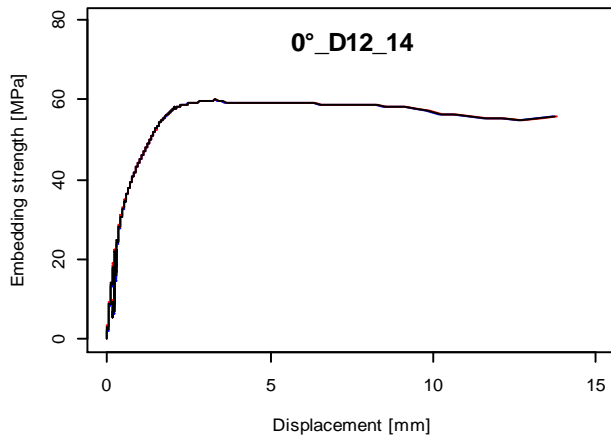
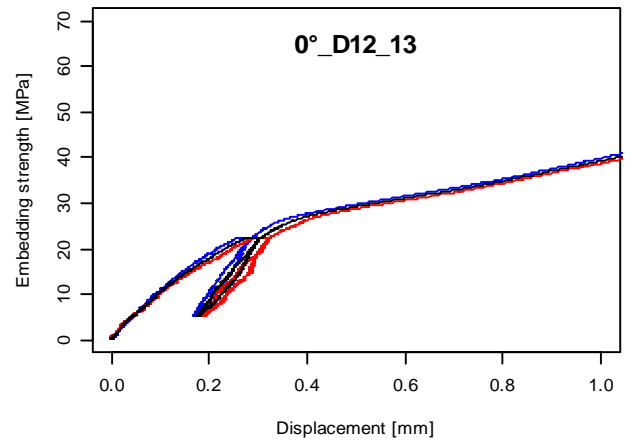
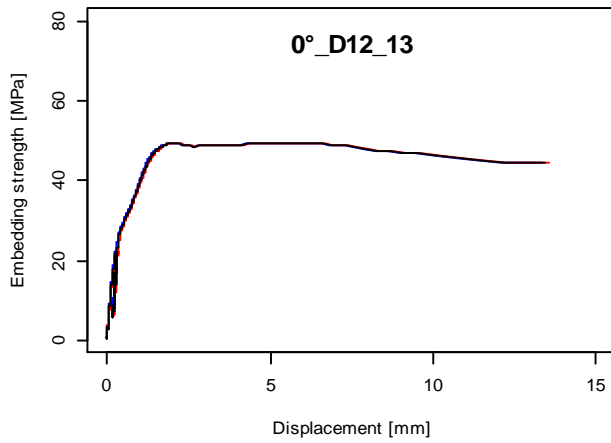
Les courbes de la résistance à l'enfoncement en fonction de l'enfoncement présentées dans ces sections sont composées de courbes bicolores (bleu et rouge) qui représentent les mesures effectuées sur chacune des faces de l'éprouvette. Les résultats individuels des essais sont ensuite déterminés à partir de la courbe moyenne (en noir).

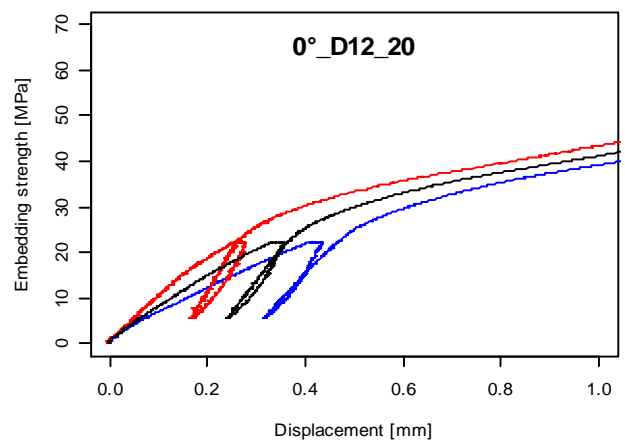
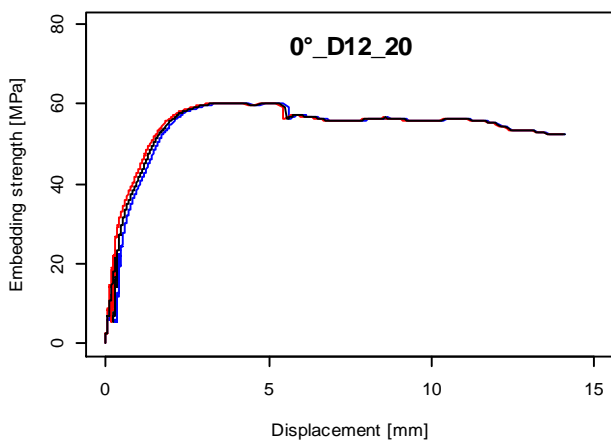
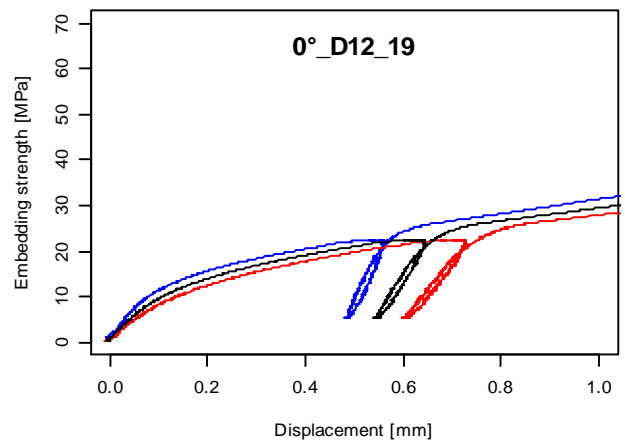
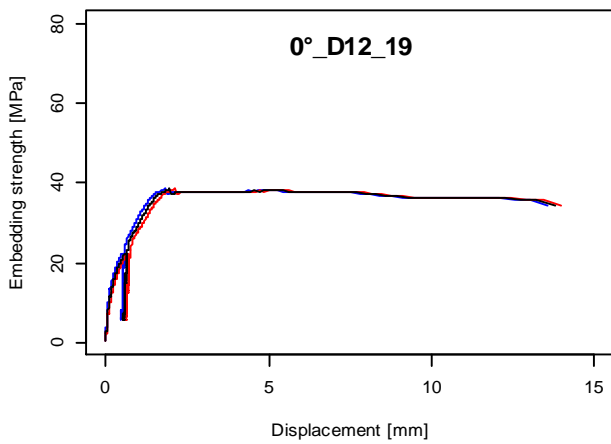
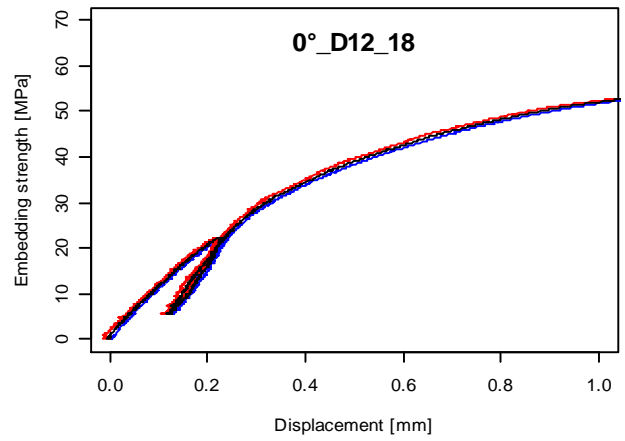
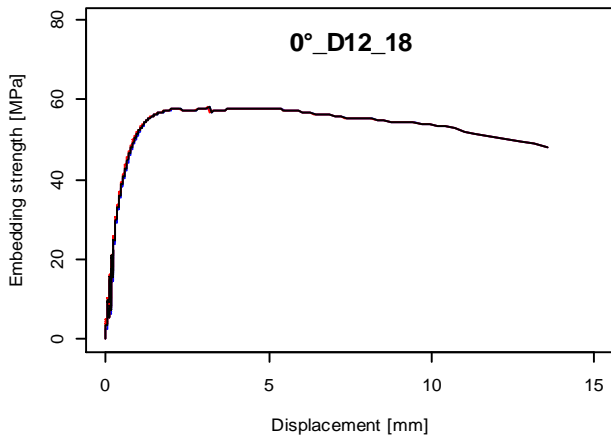
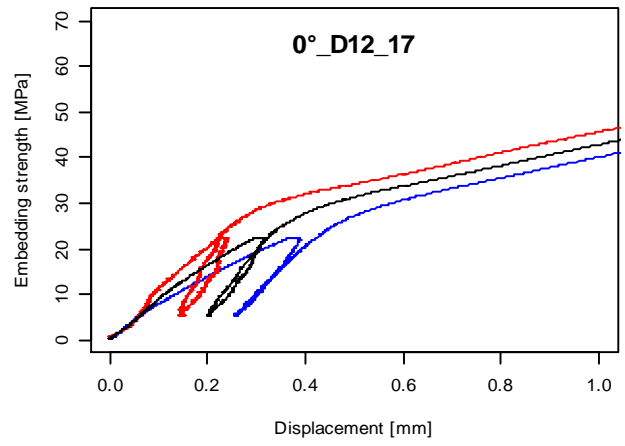
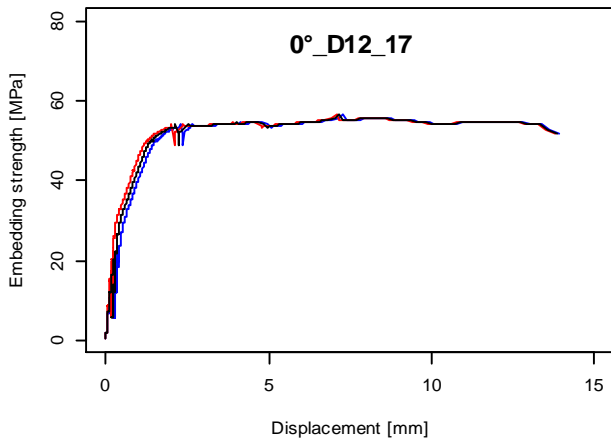
Les différentes courbes mettent en évidence le comportement fragile des essais parallèles au fil du bois avec une rupture fragile qui peut se produire avant le déplacement de 5mm imposé par la norme EN383. Les essais de résistance à l'enfoncement perpendiculaires au fil du bois mettent en évidence le comportement ductile du bois dans la capacité de résistance à l'enfoncement.

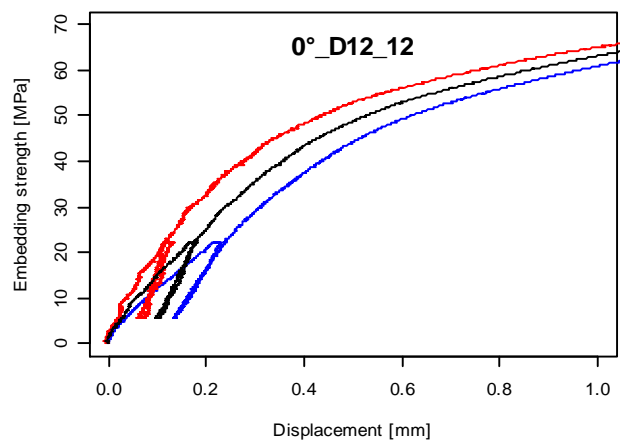
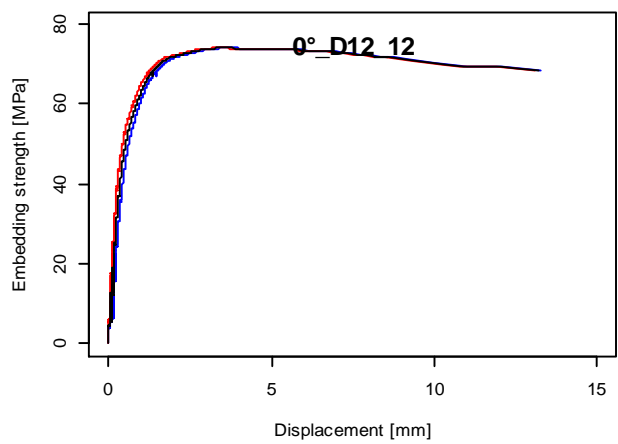
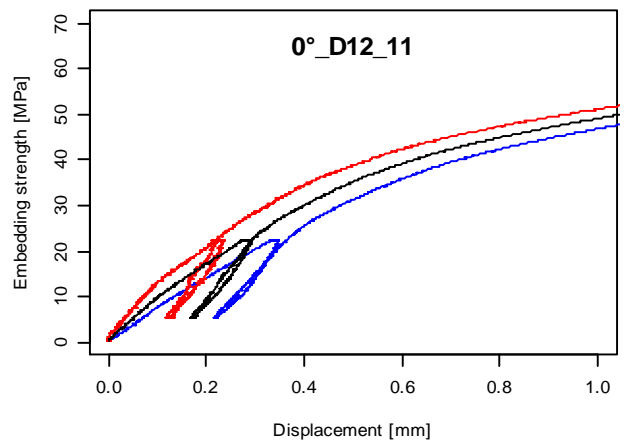
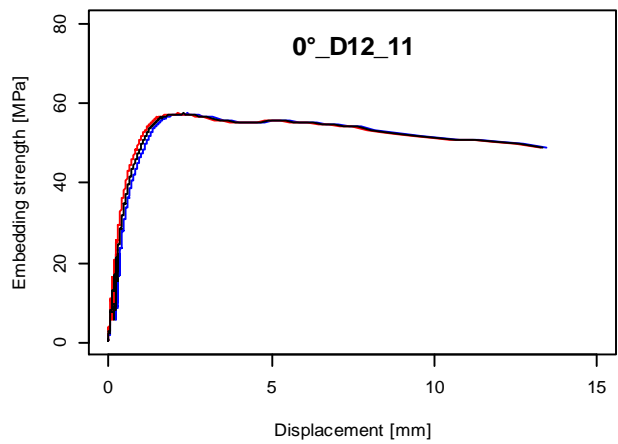
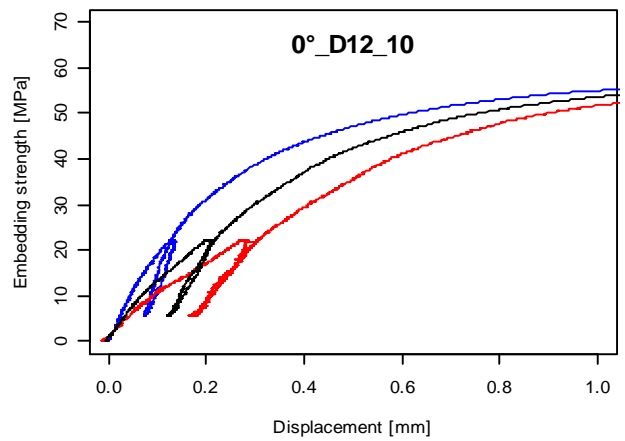
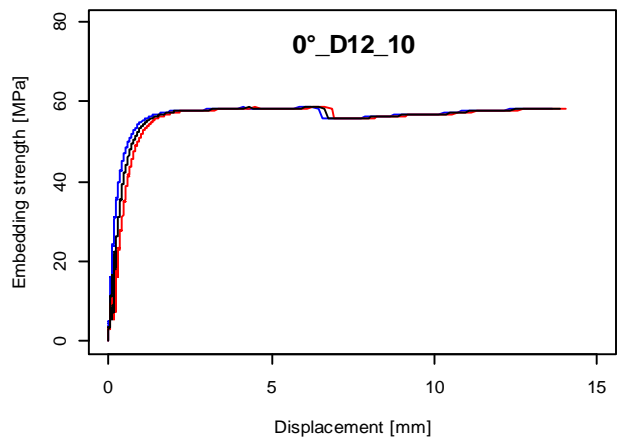
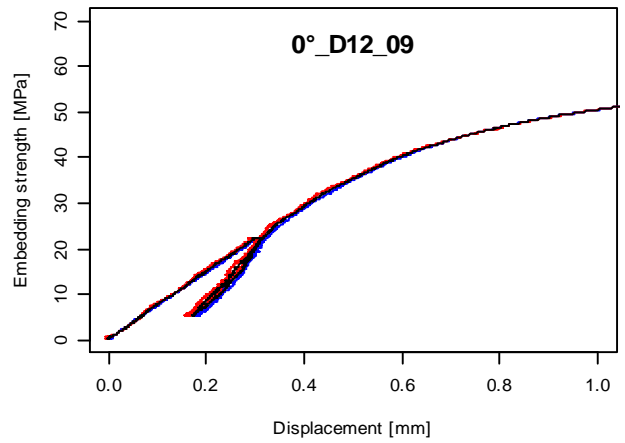
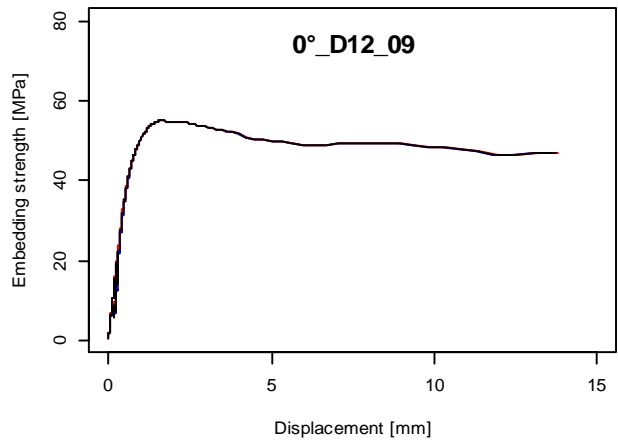
2.6 Courbes d'essais

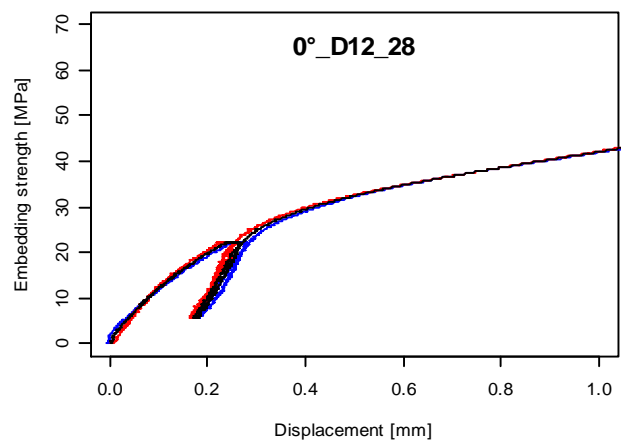
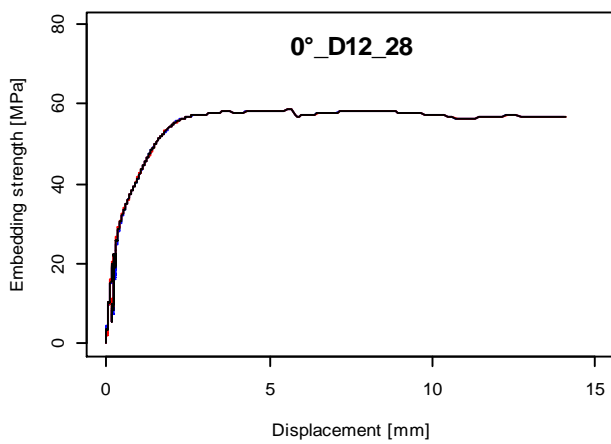
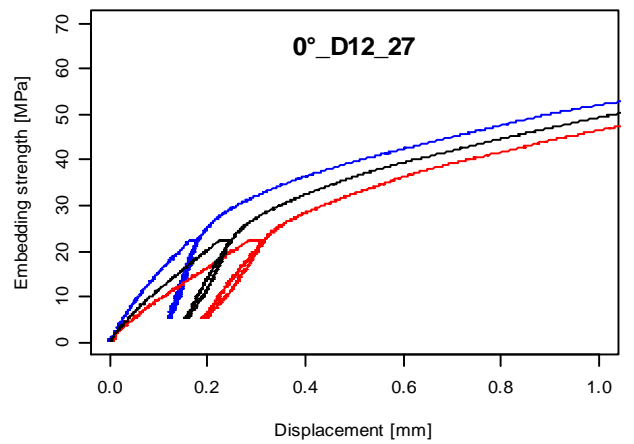
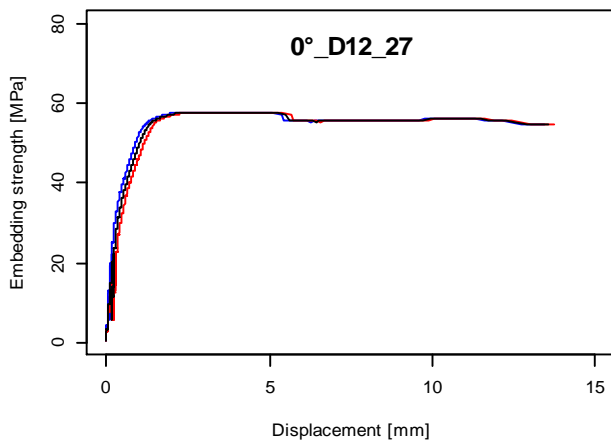
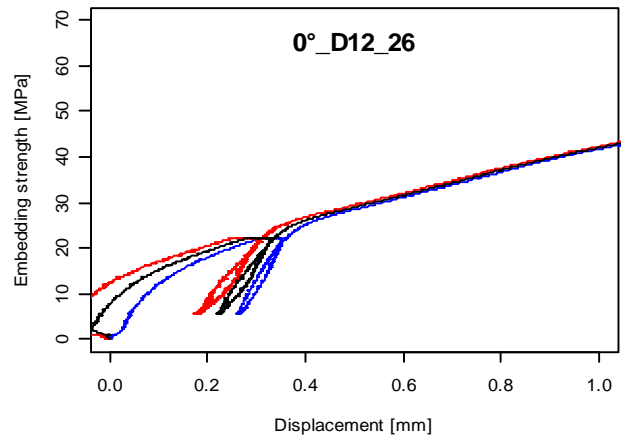
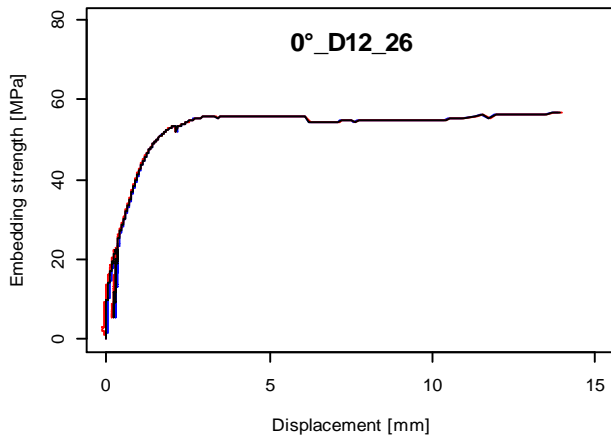
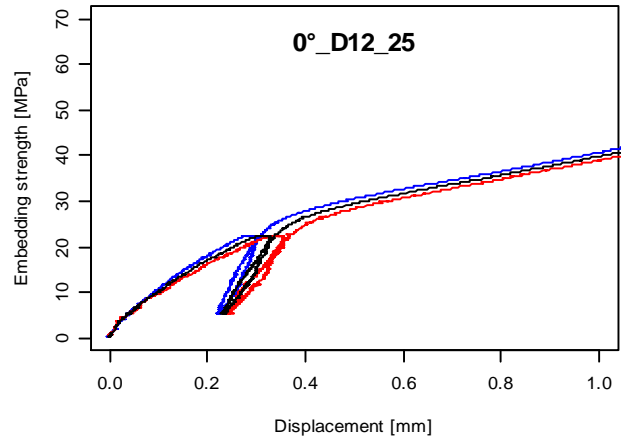
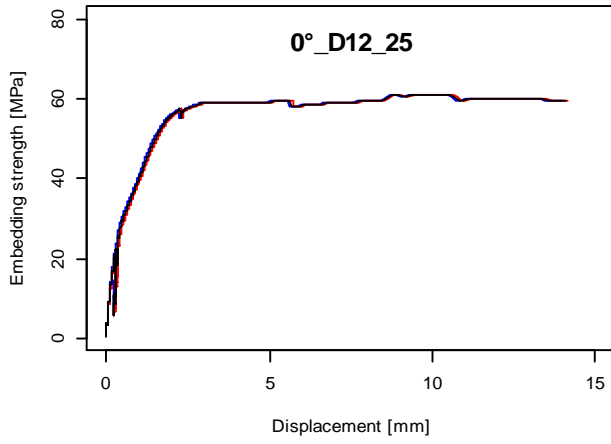


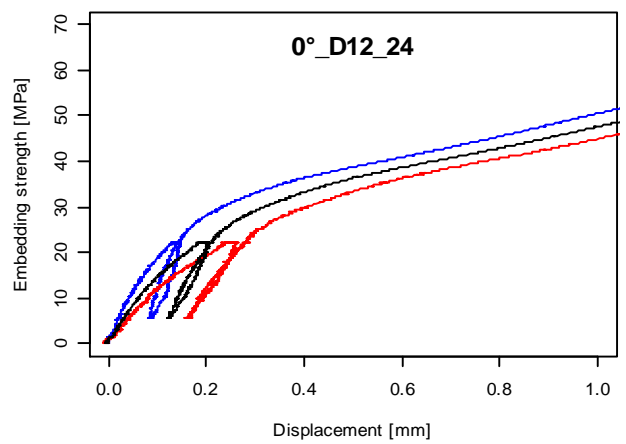
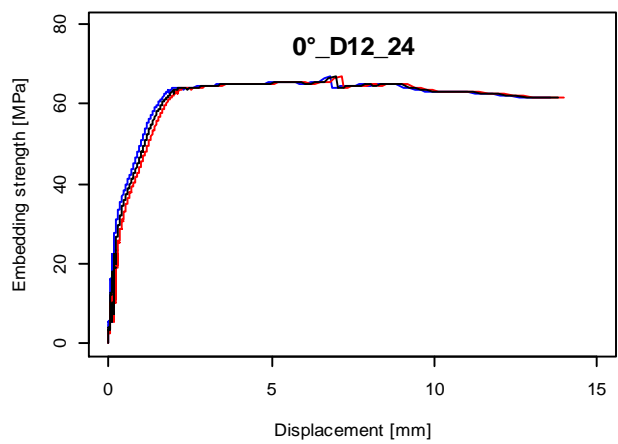
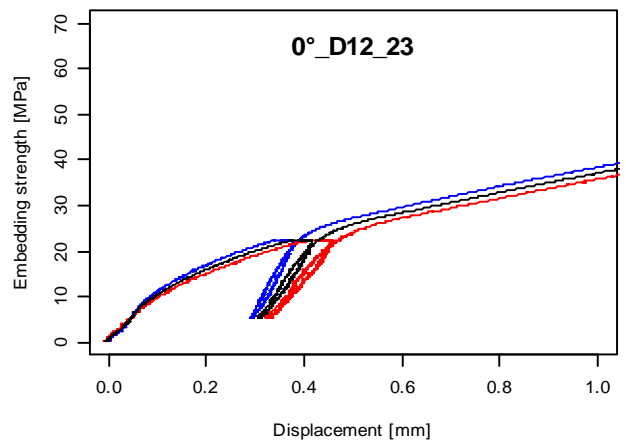
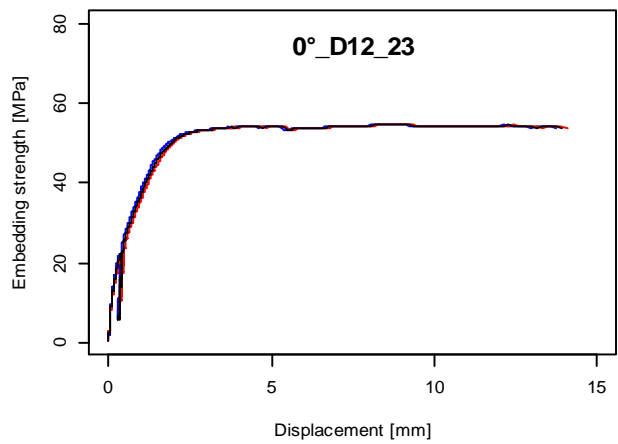
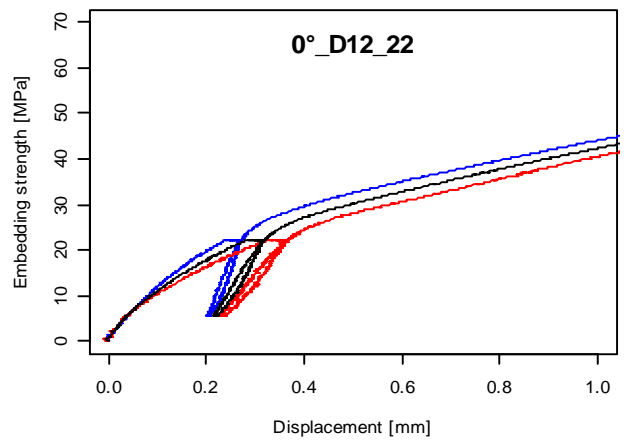
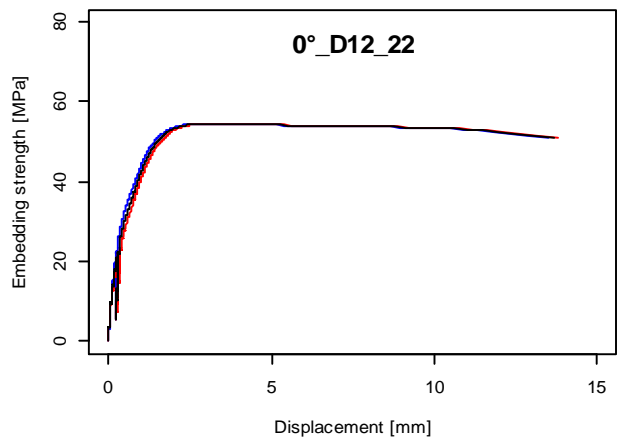
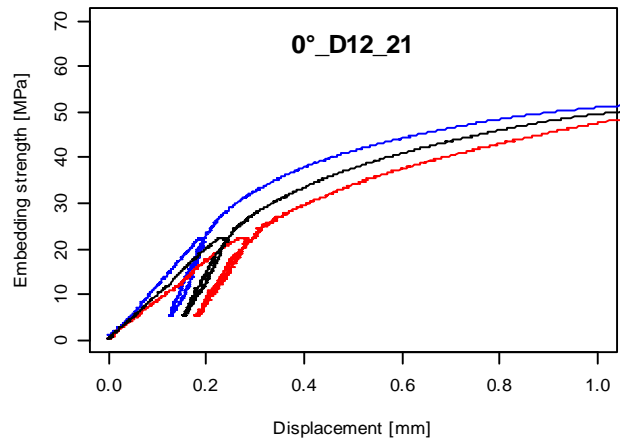
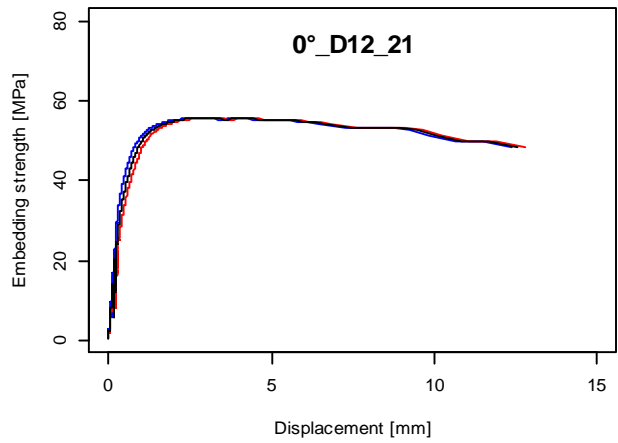


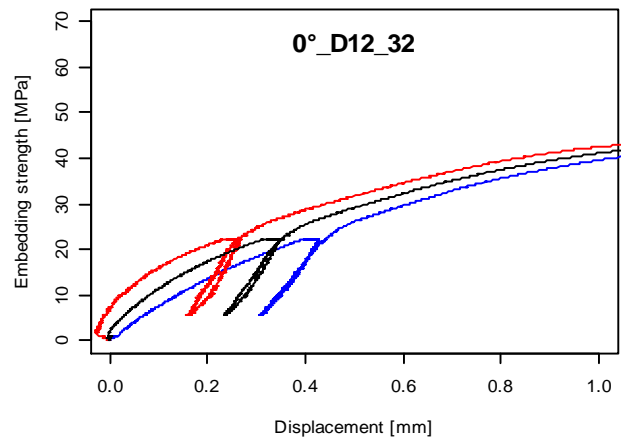
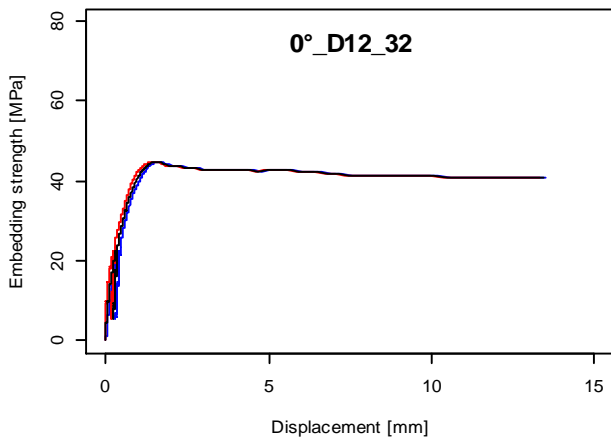
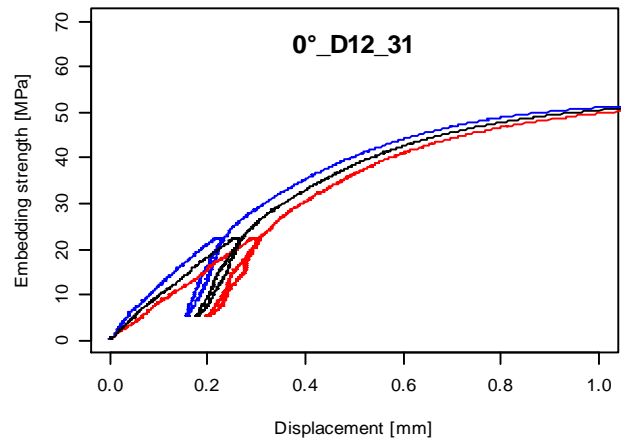
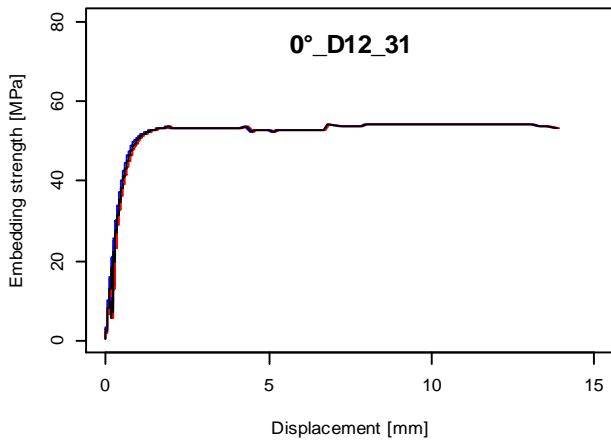
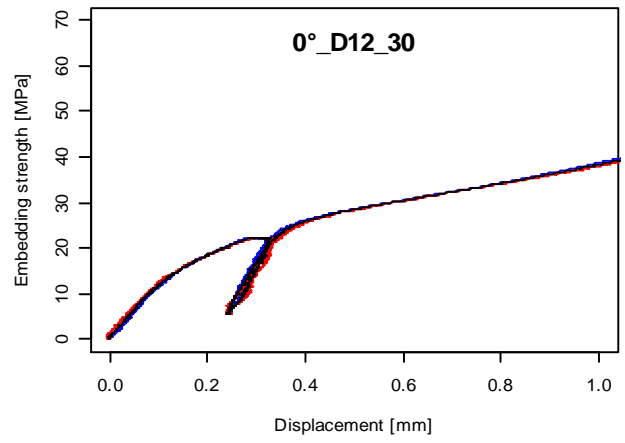
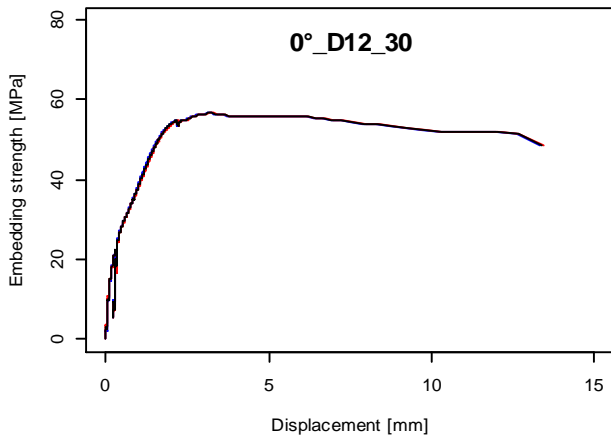
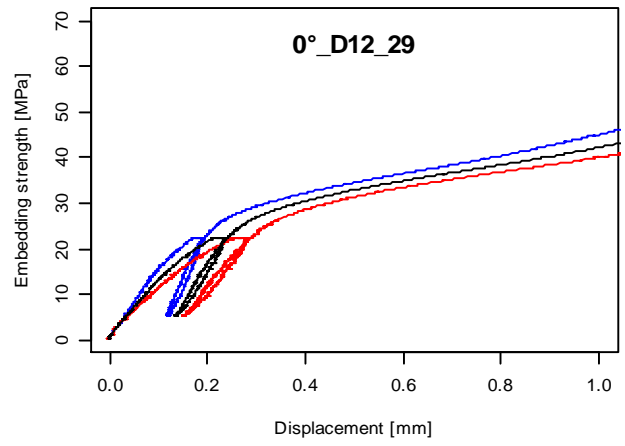
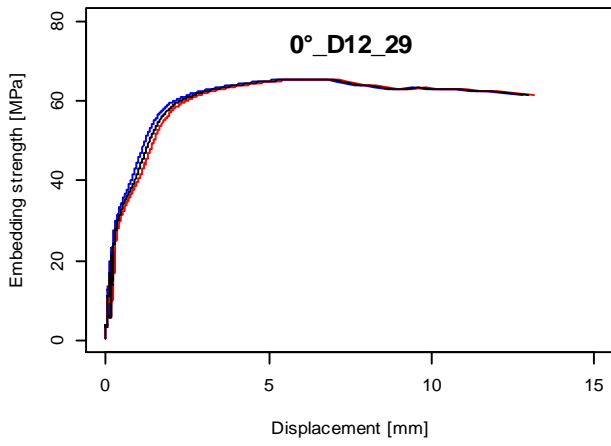


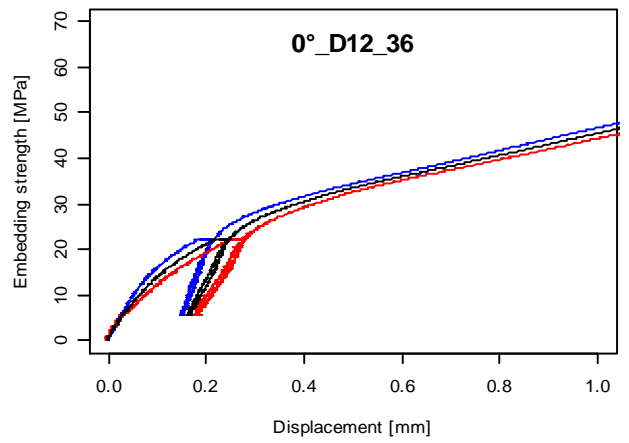
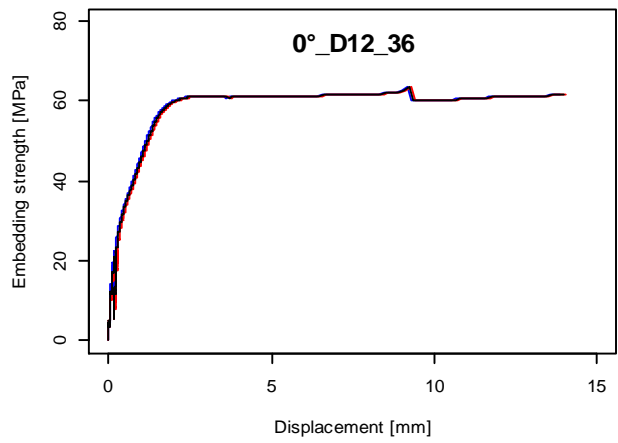
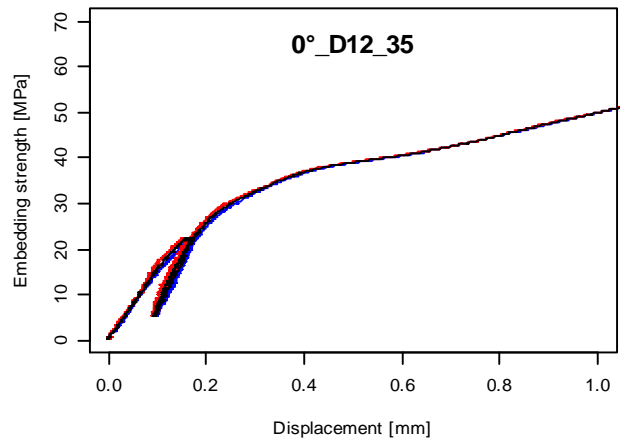
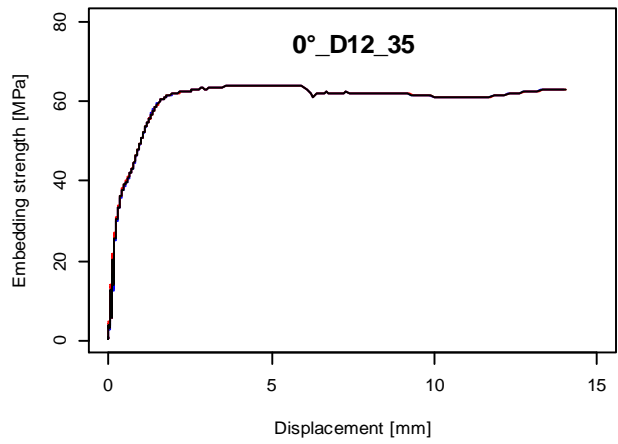
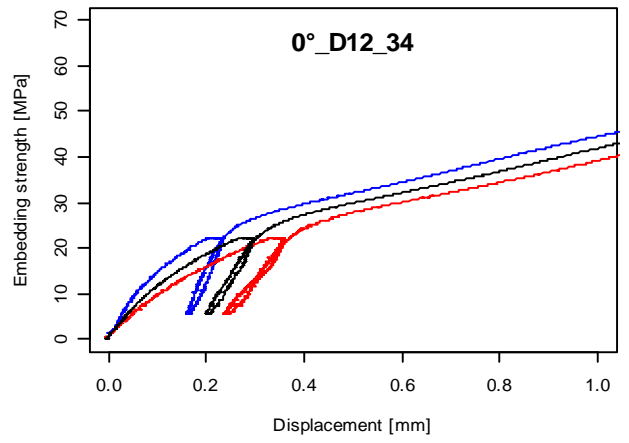
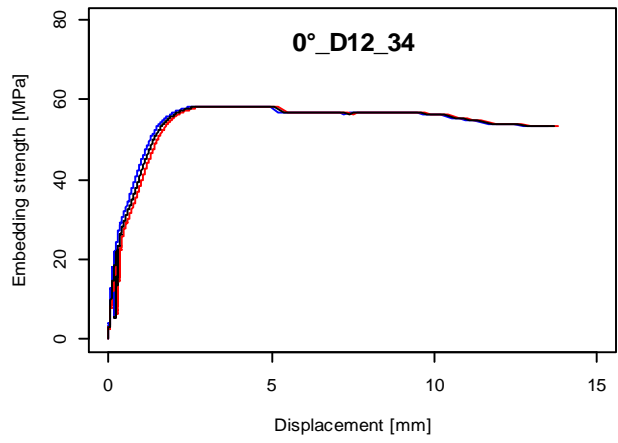
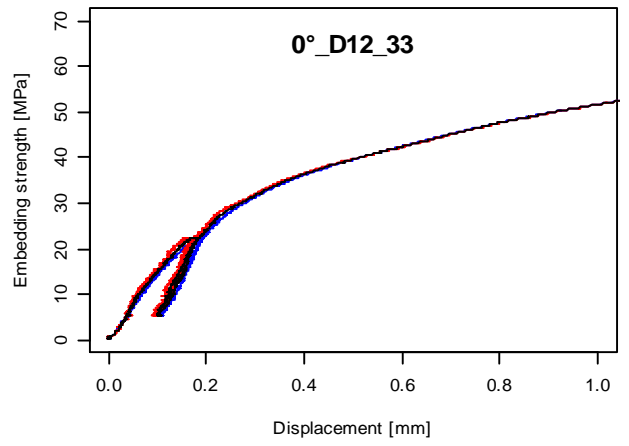
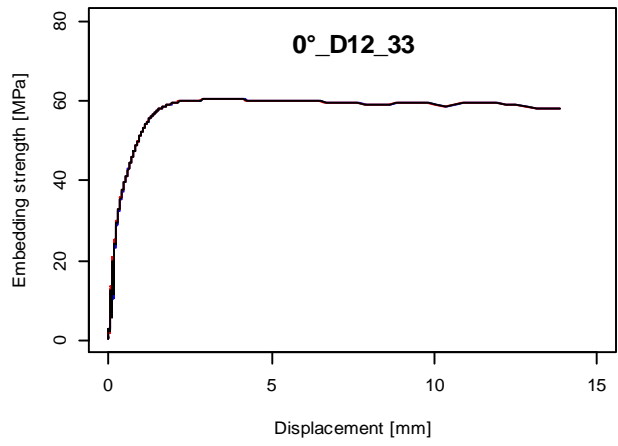


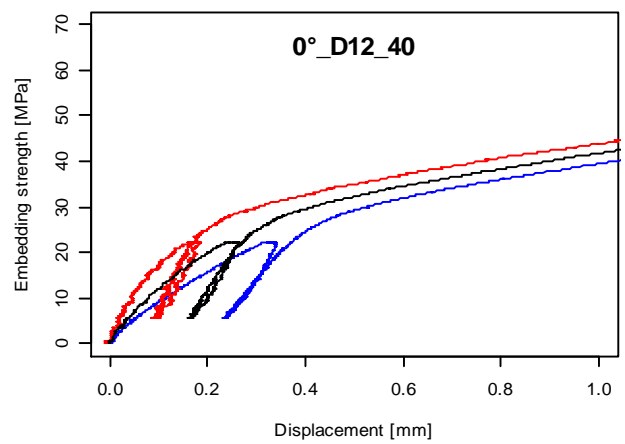
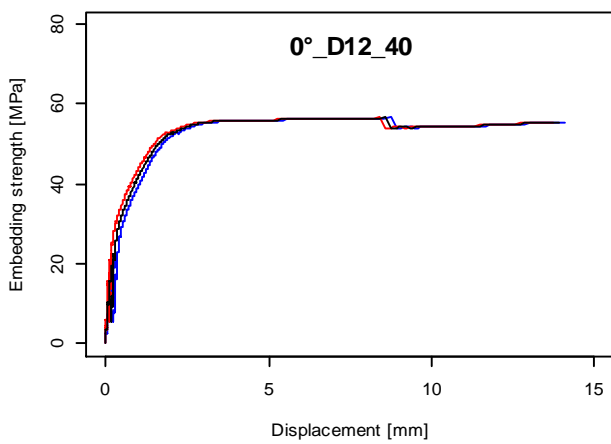
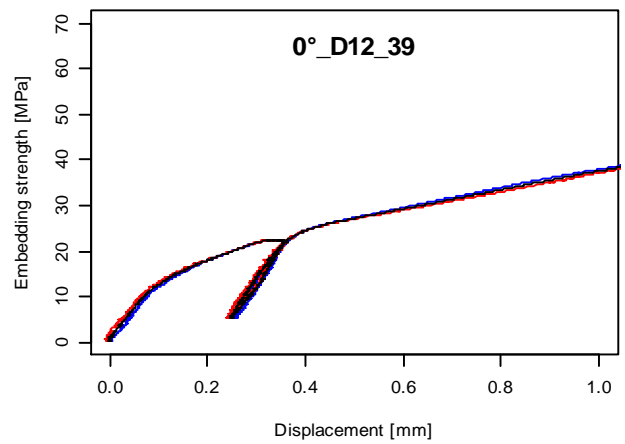
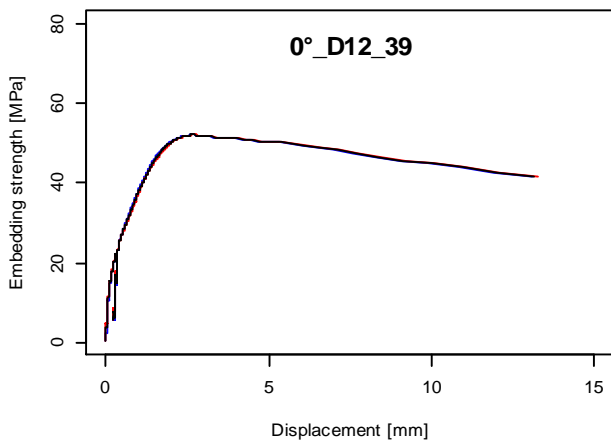
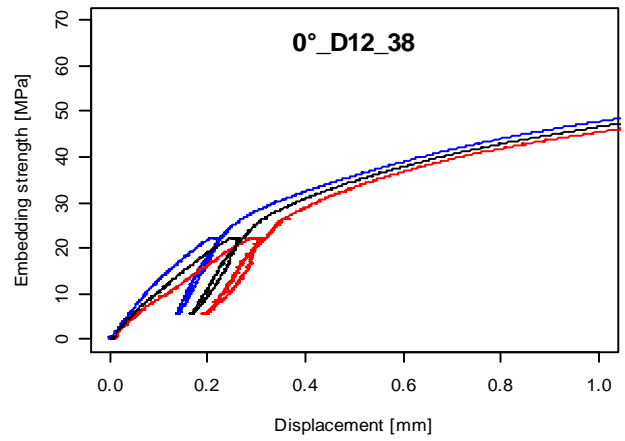
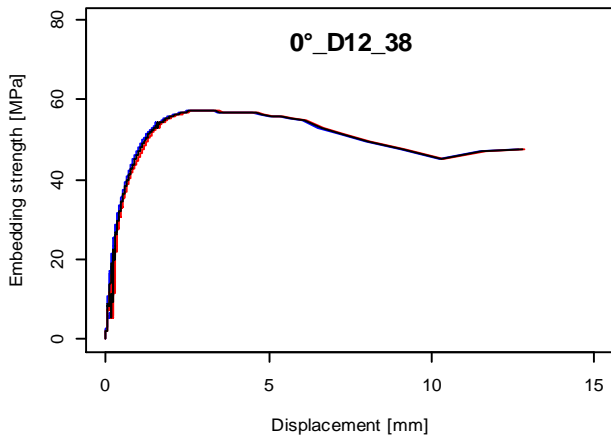
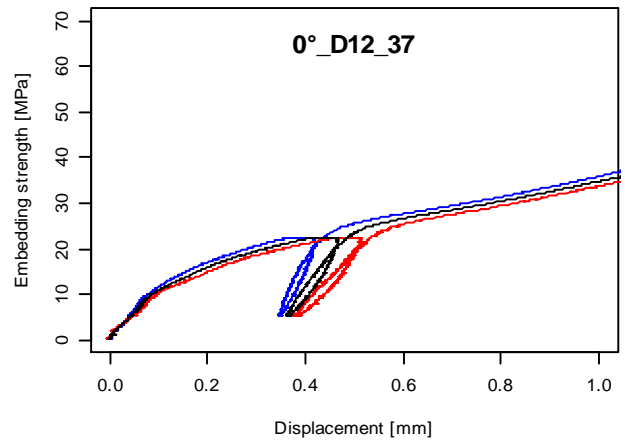
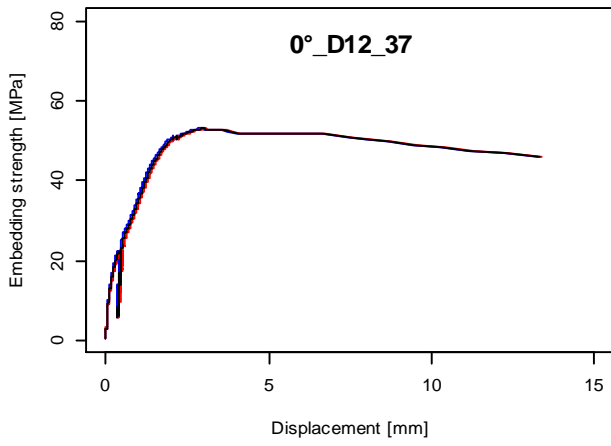


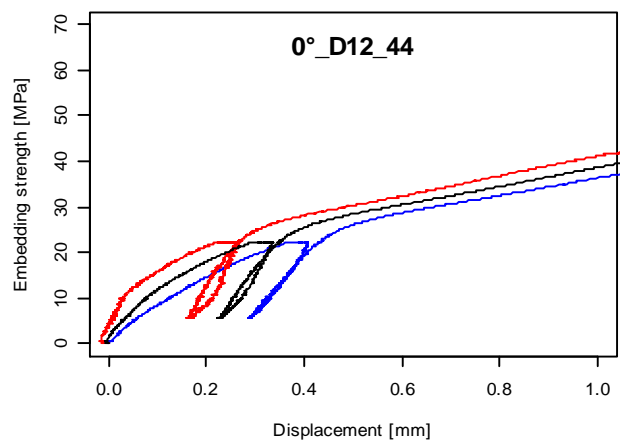
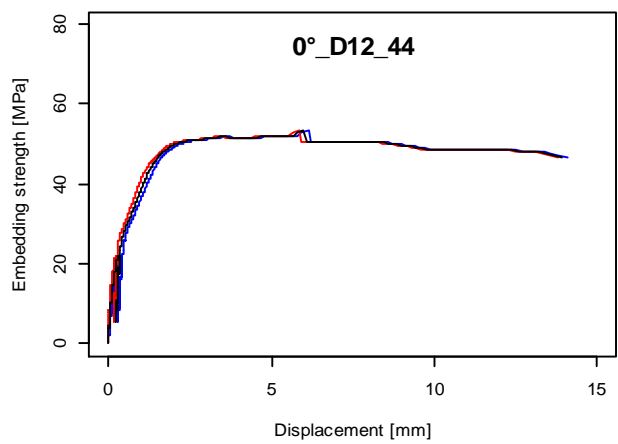
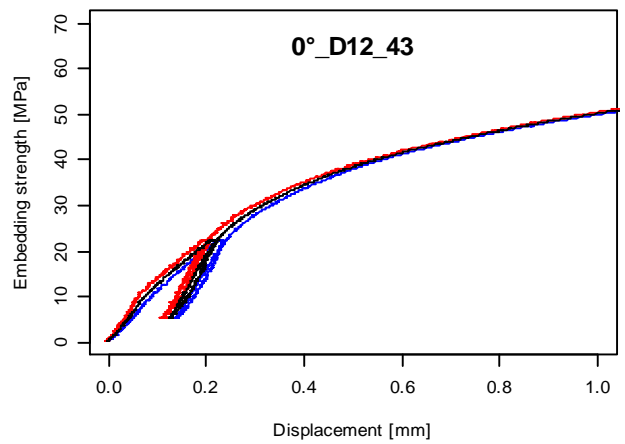
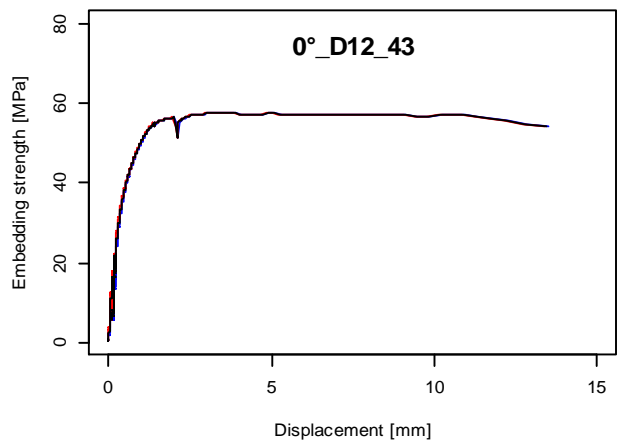
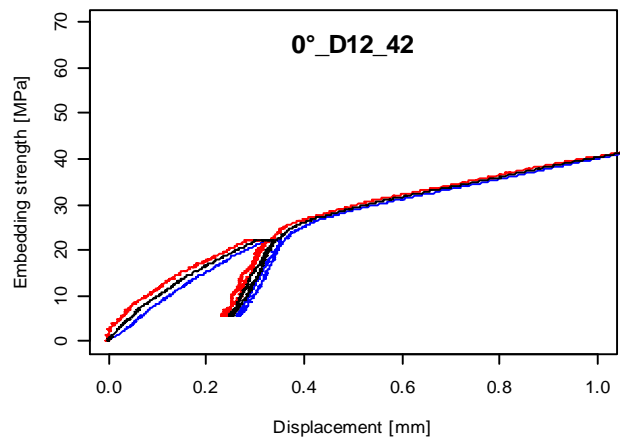
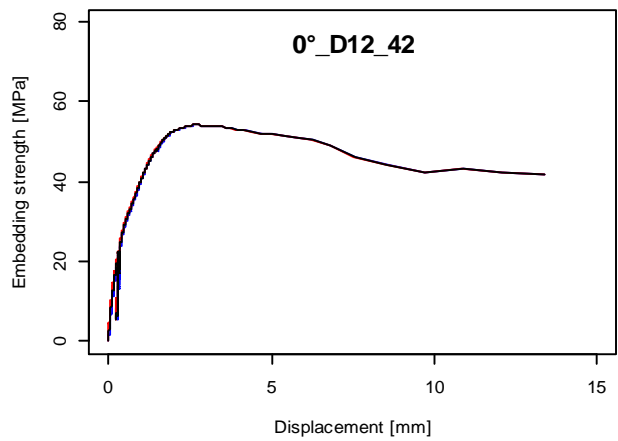
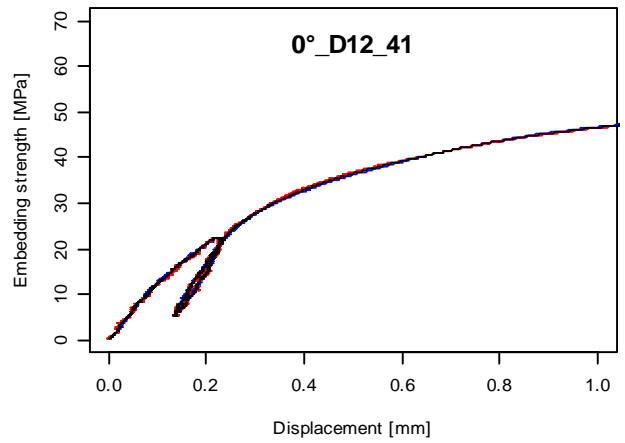
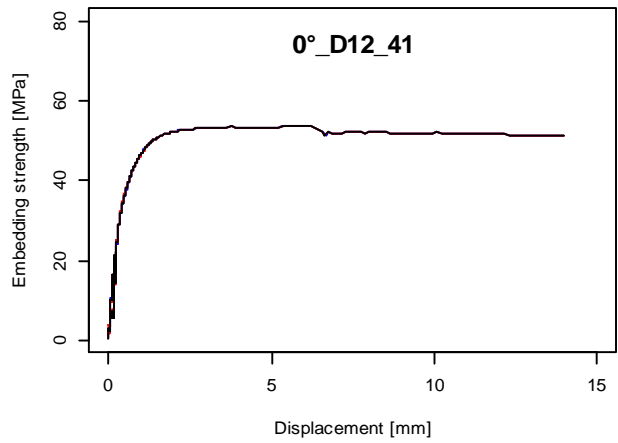


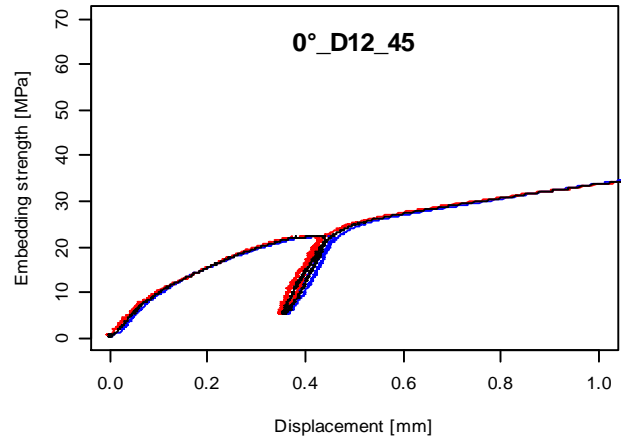
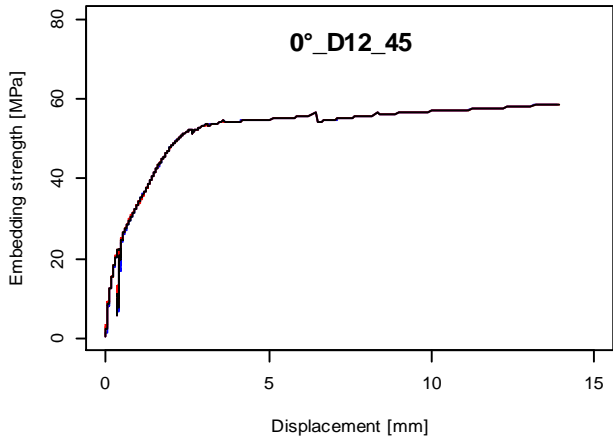


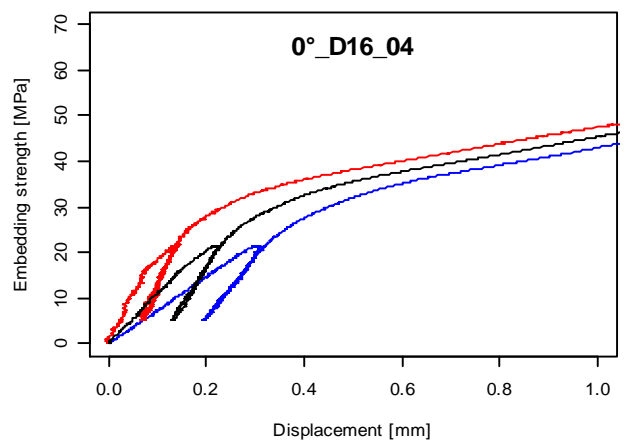
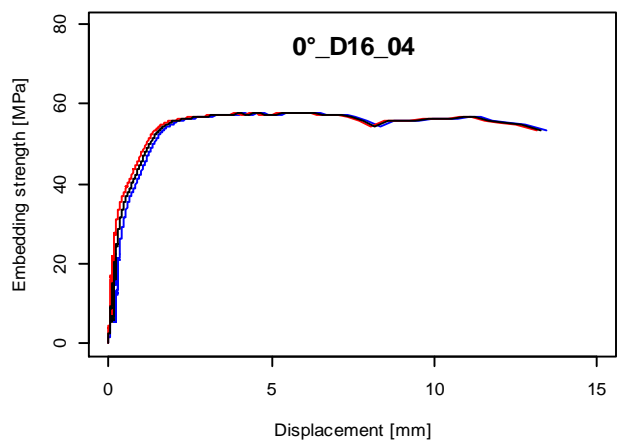
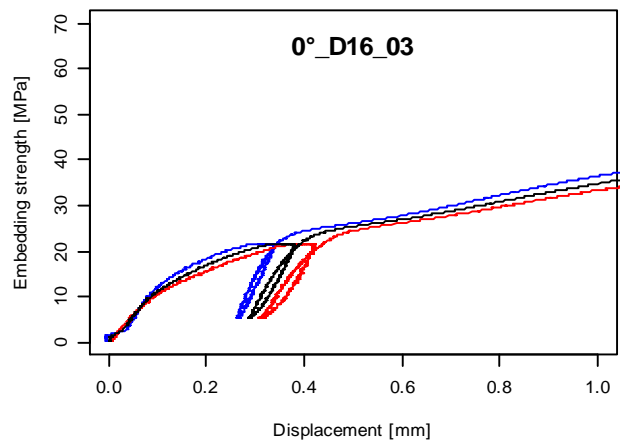
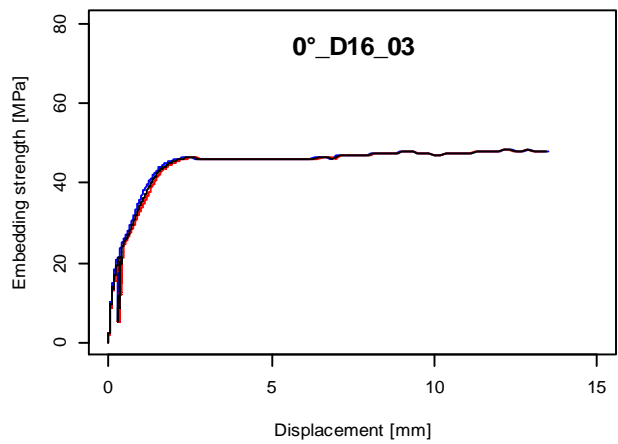
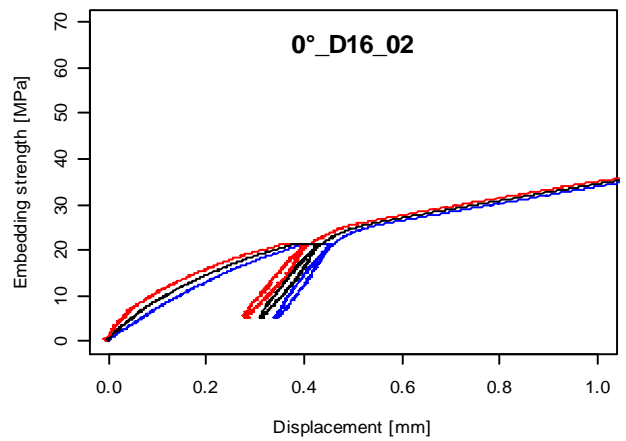
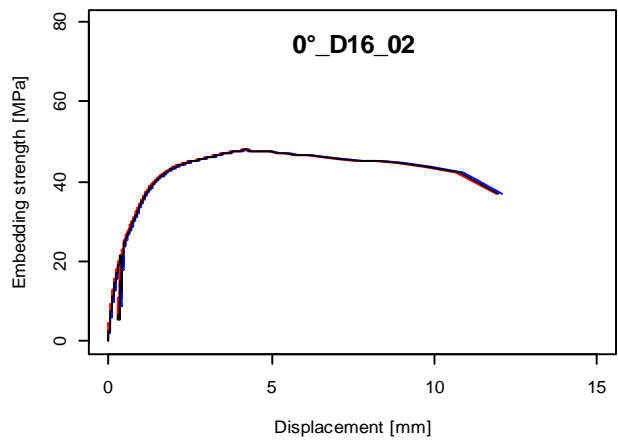
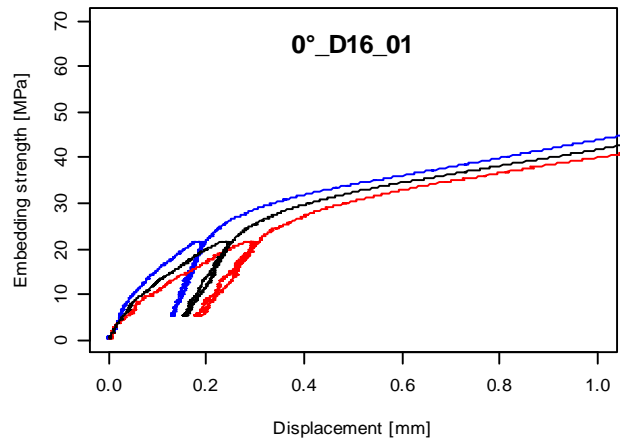
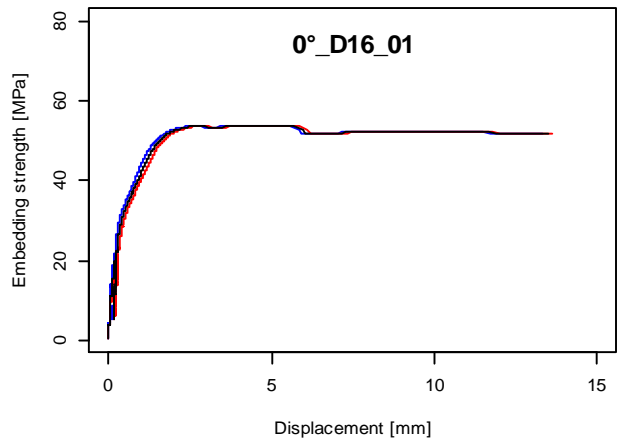


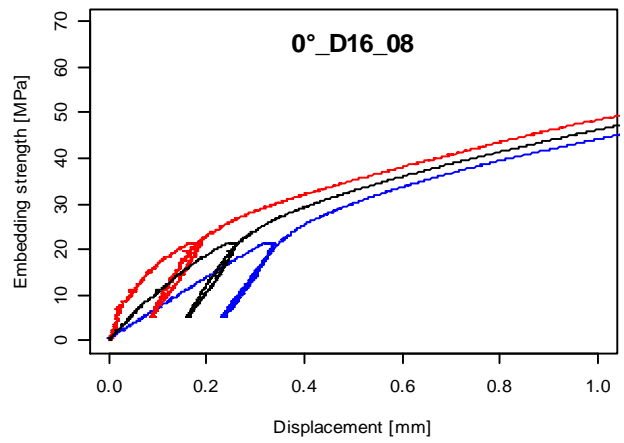
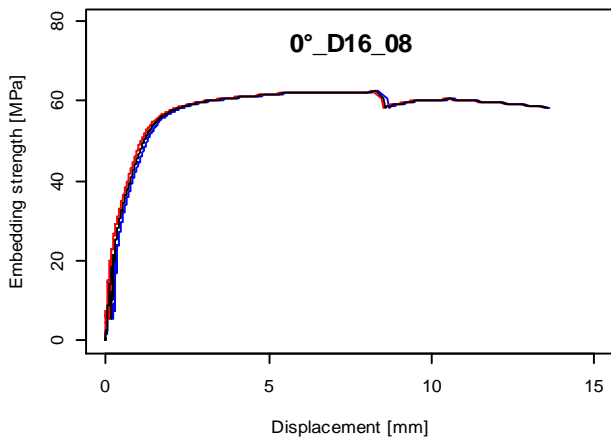
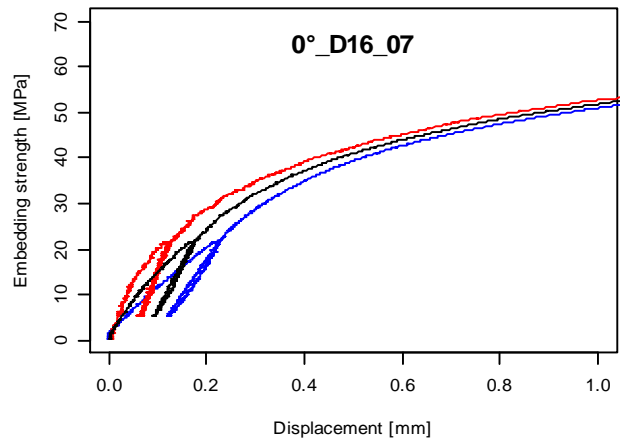
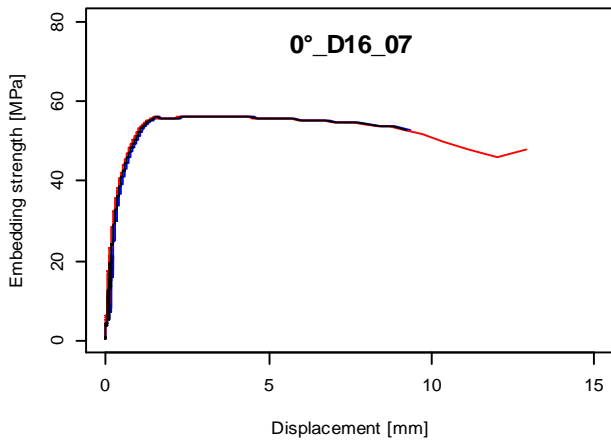
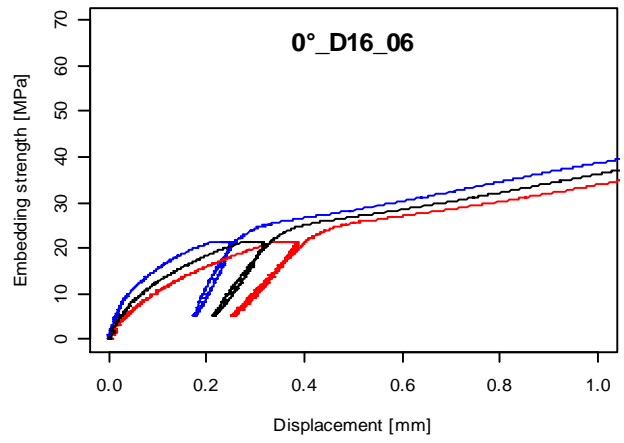
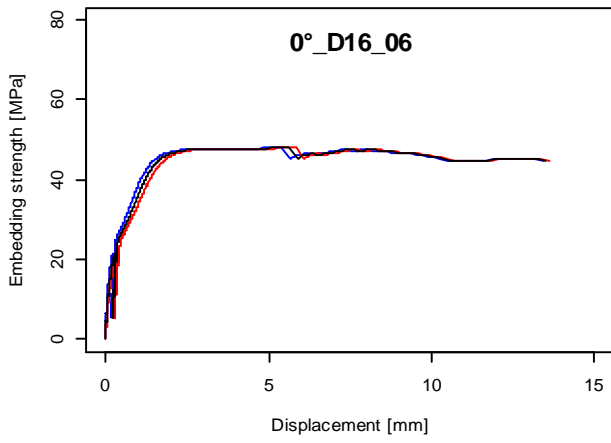
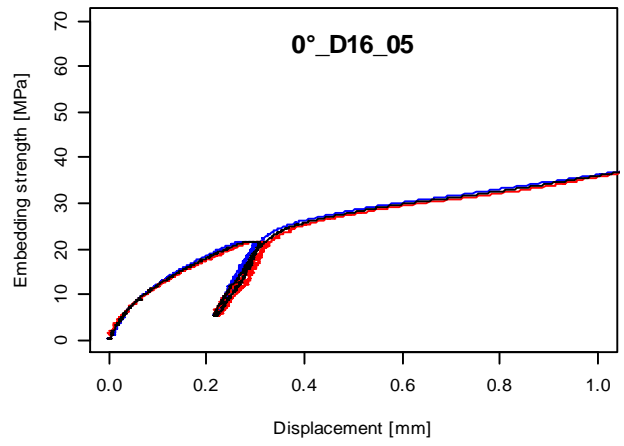
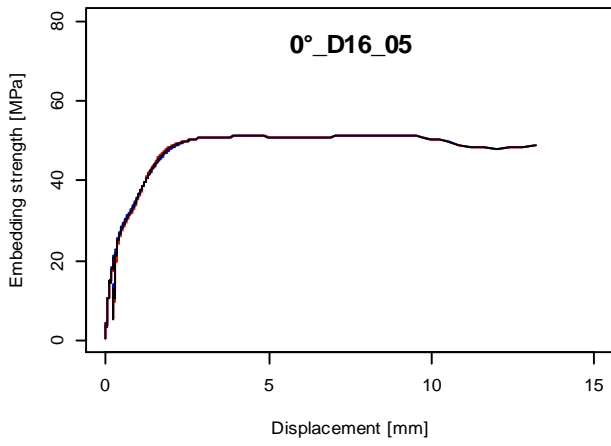


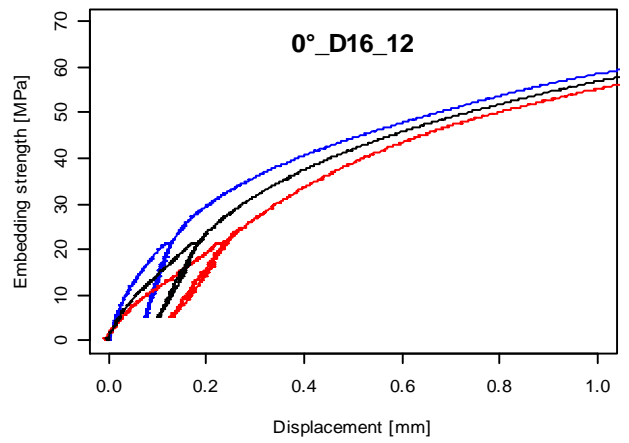
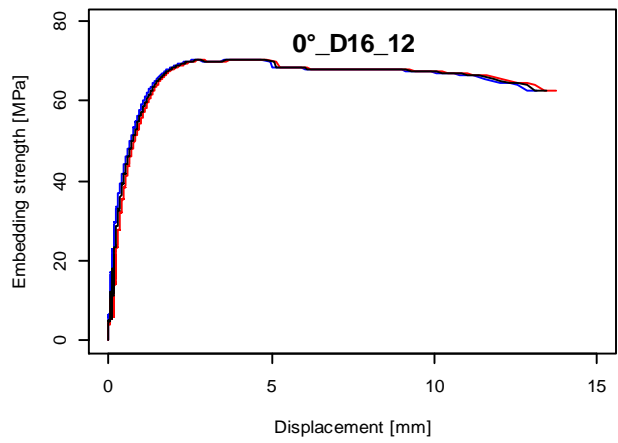
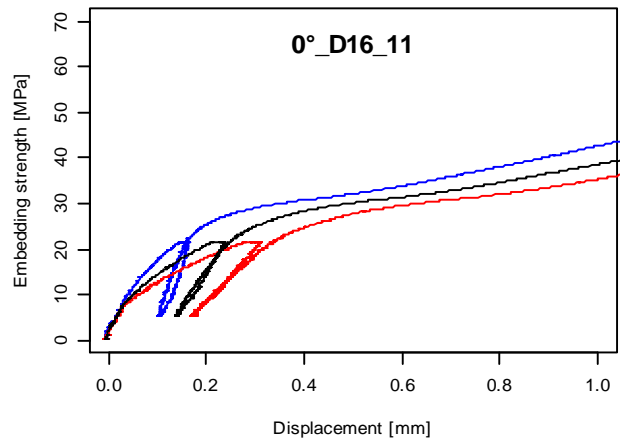
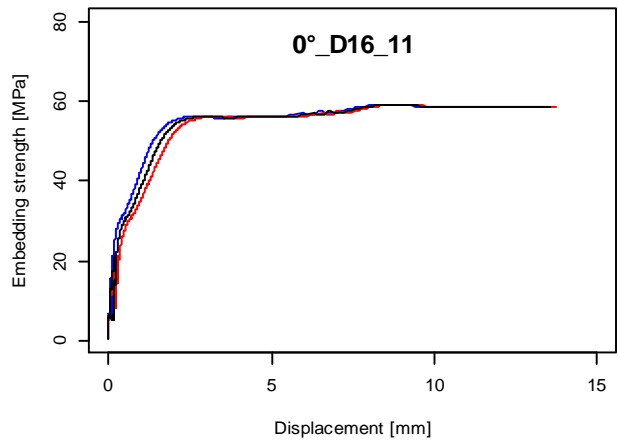
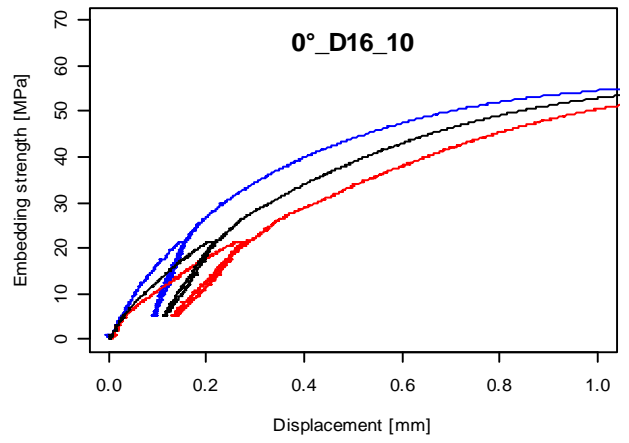
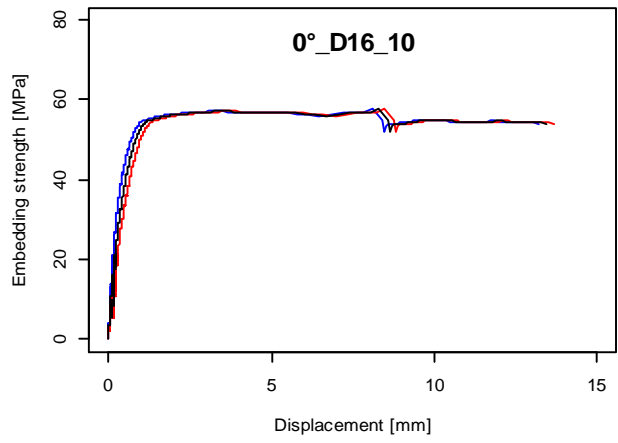
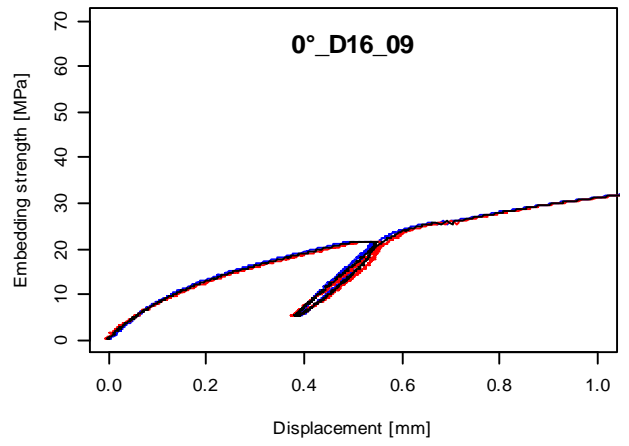
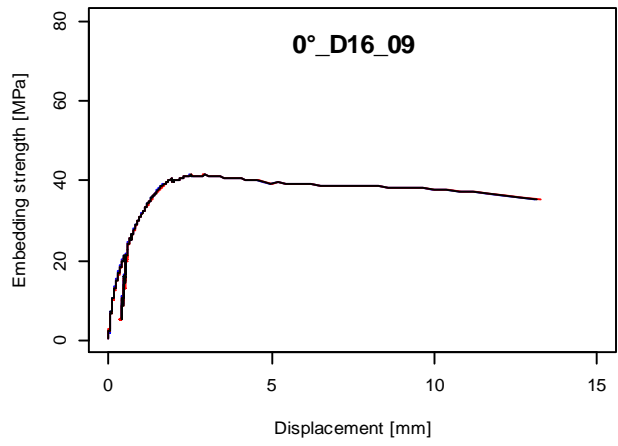


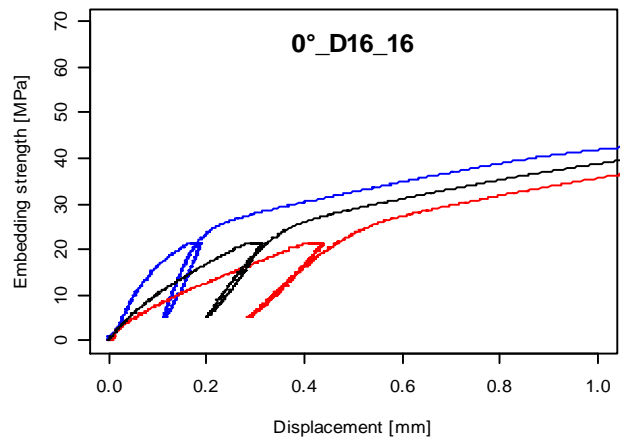
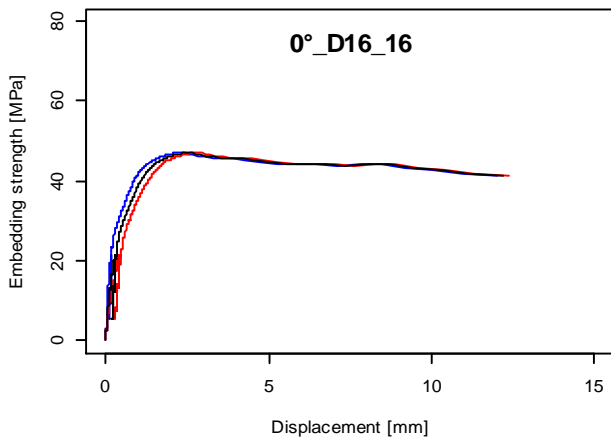
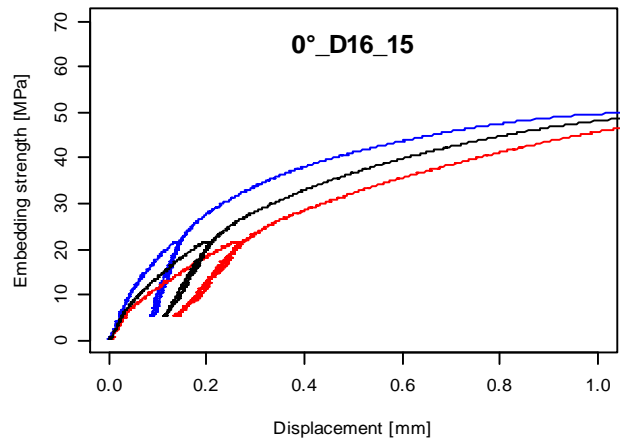
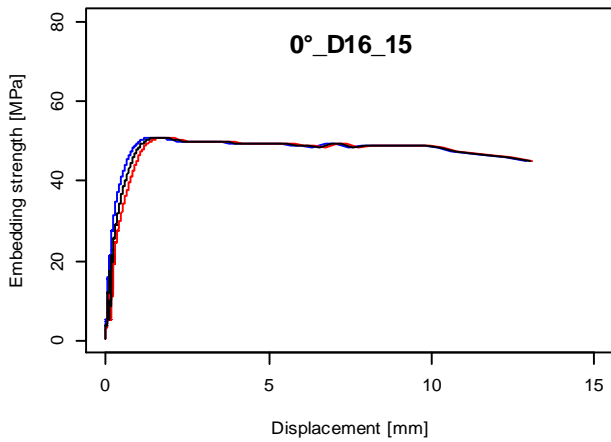
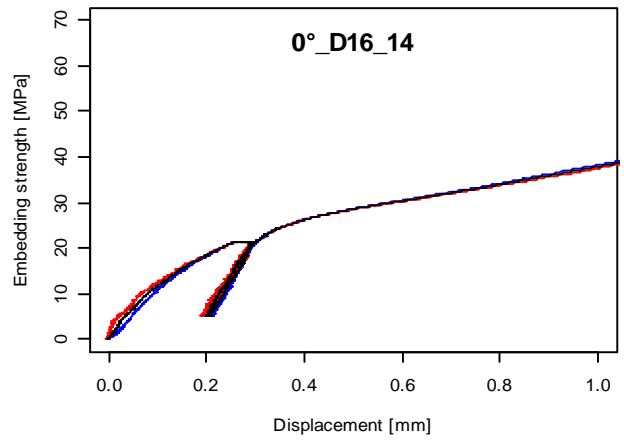
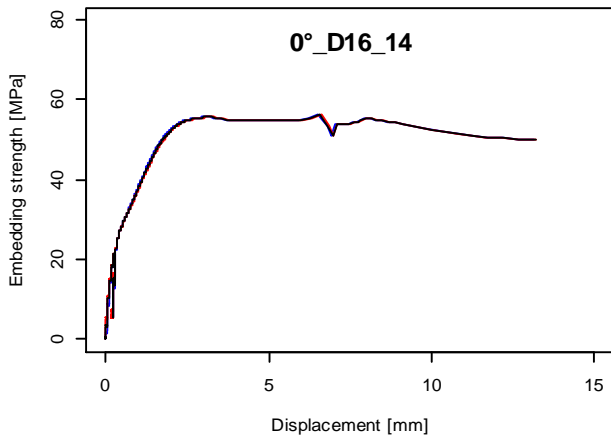
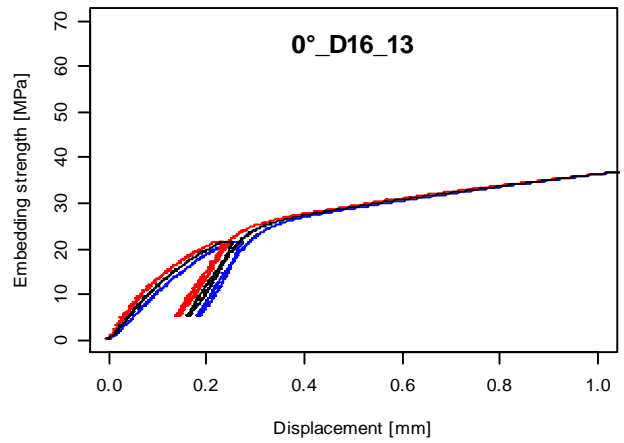
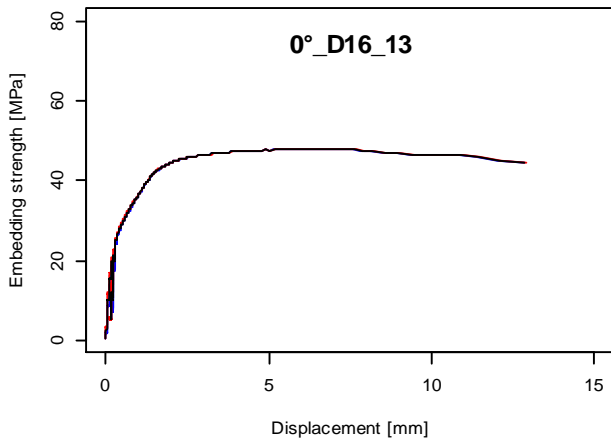


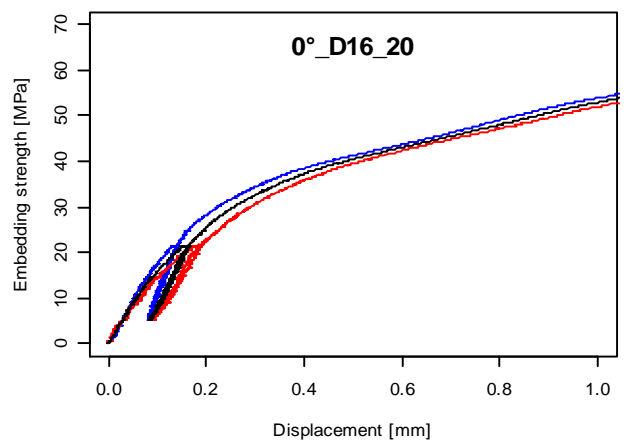
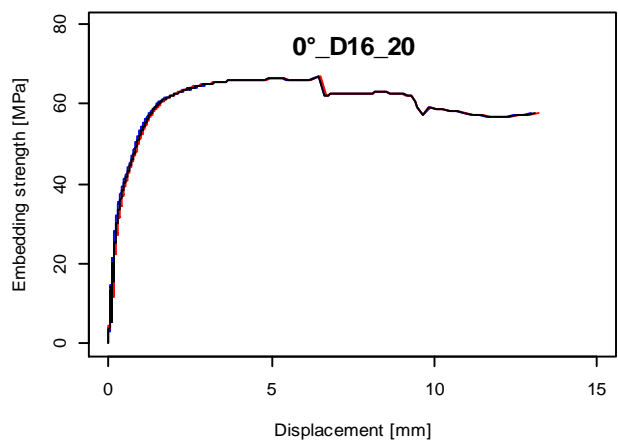
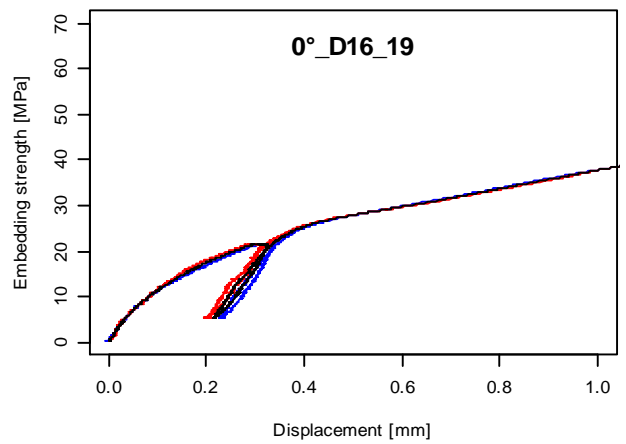
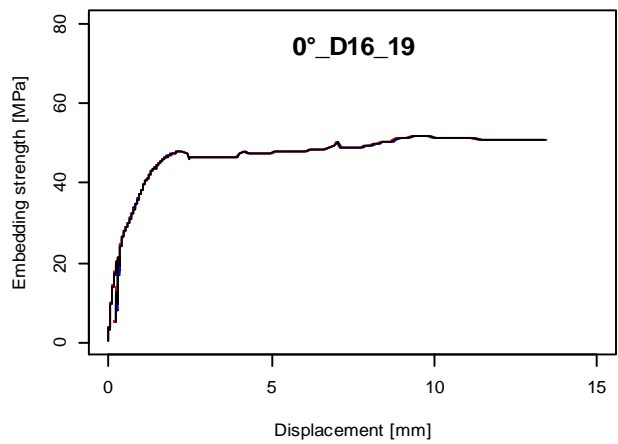
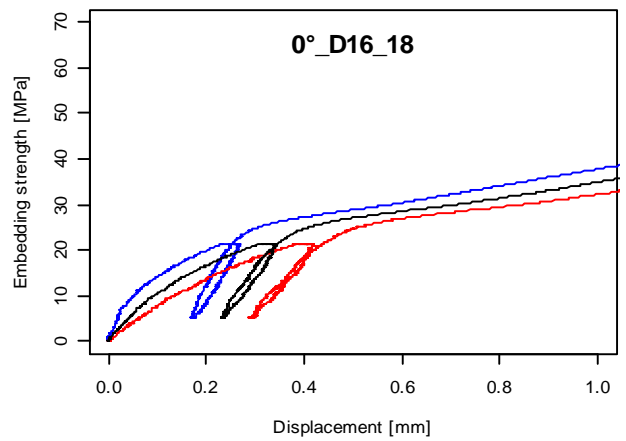
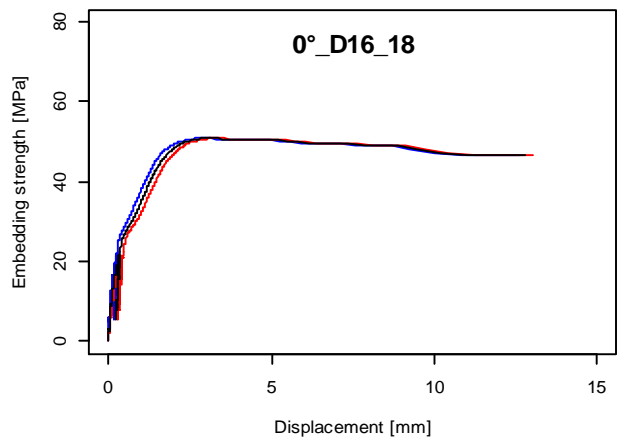
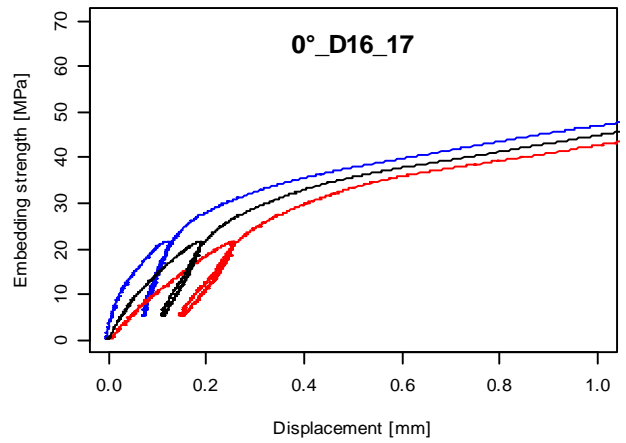
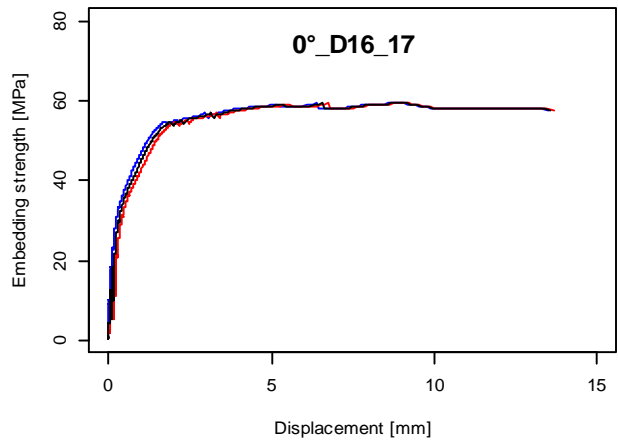


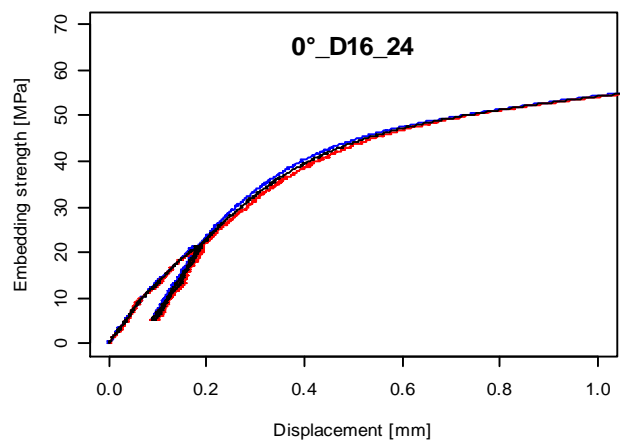
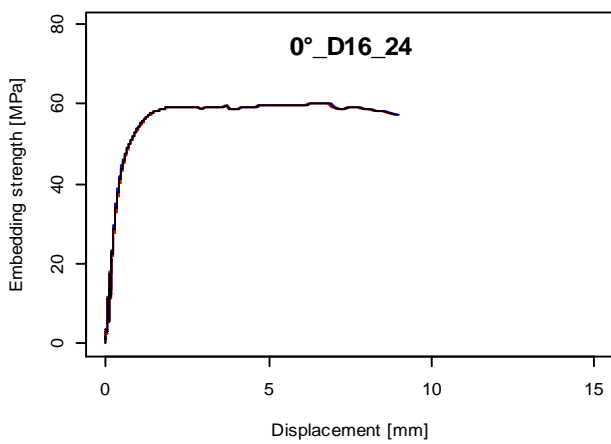
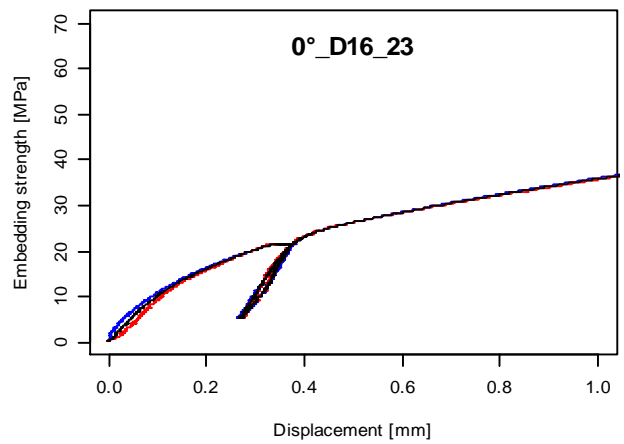
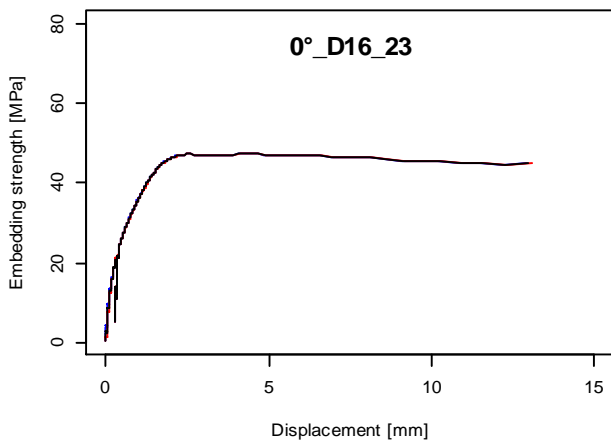
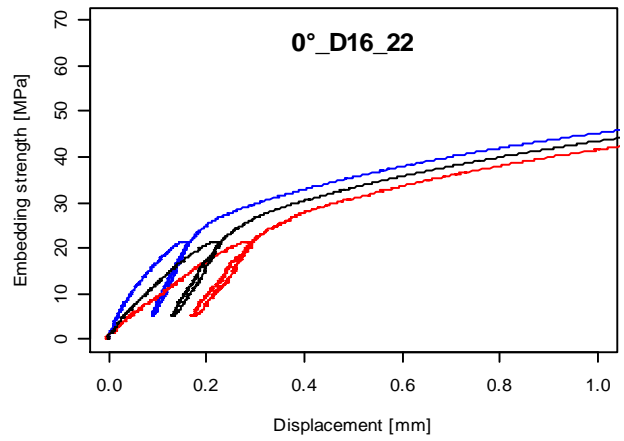
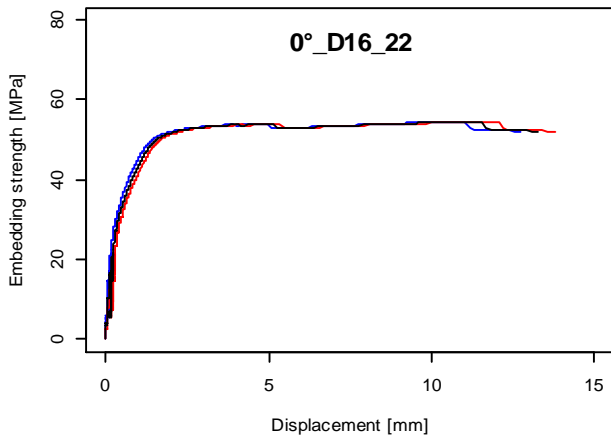
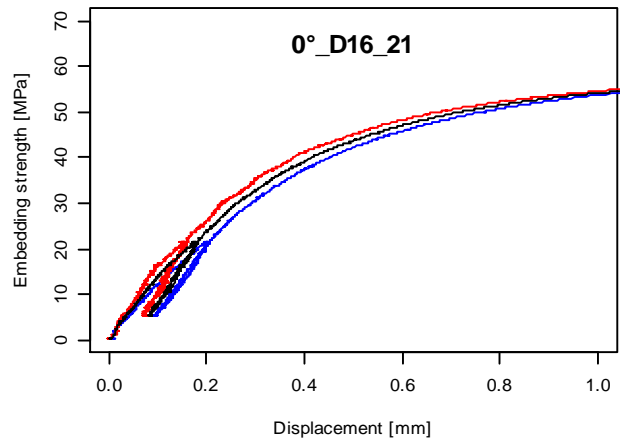
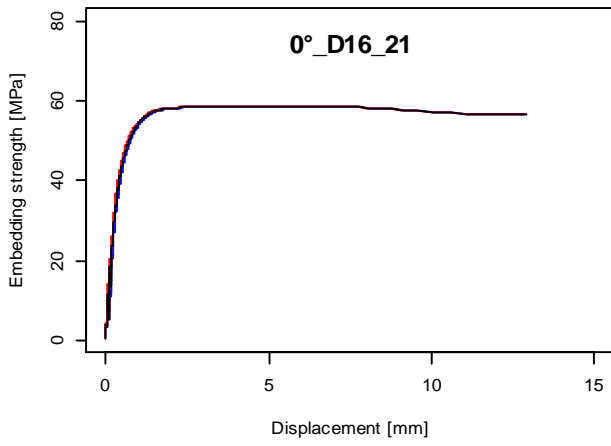


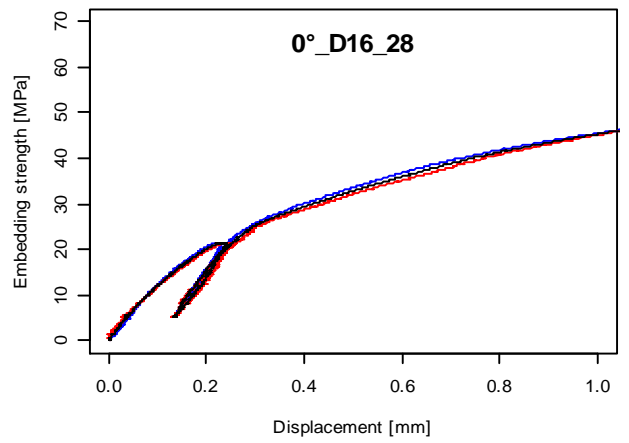
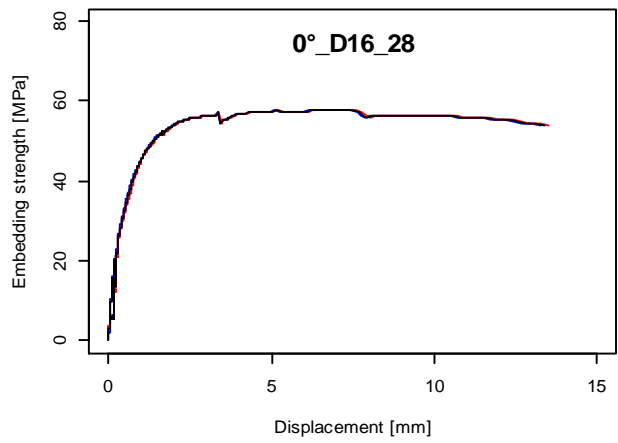
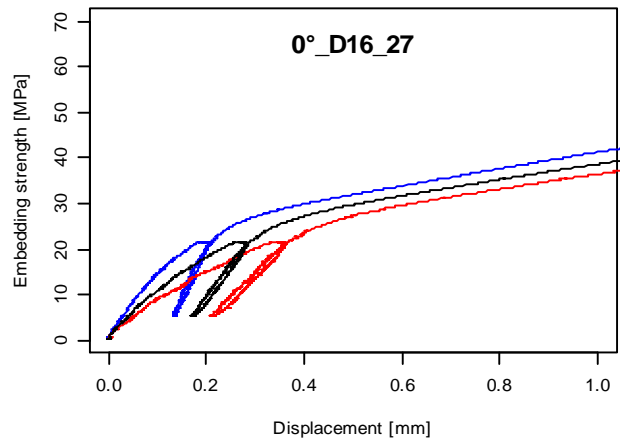
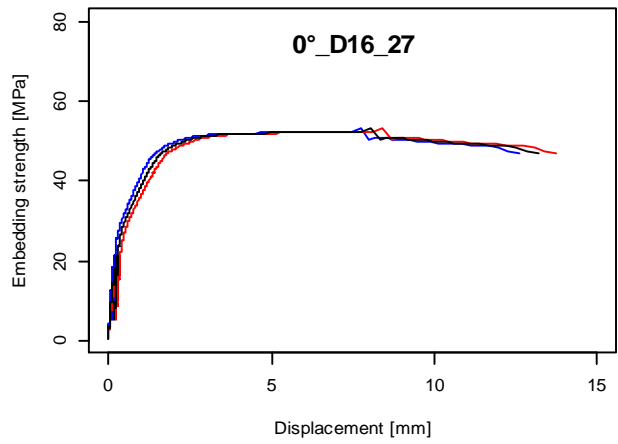
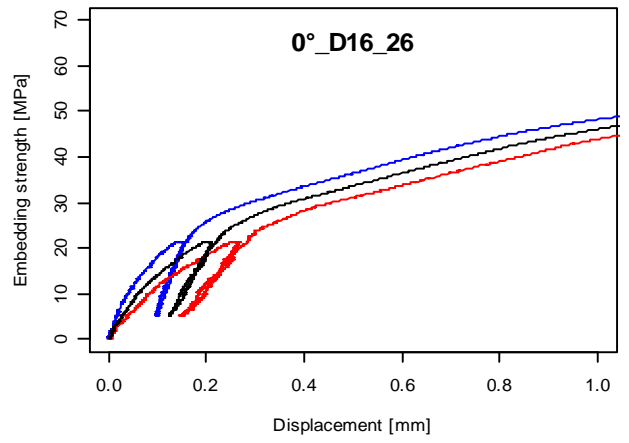
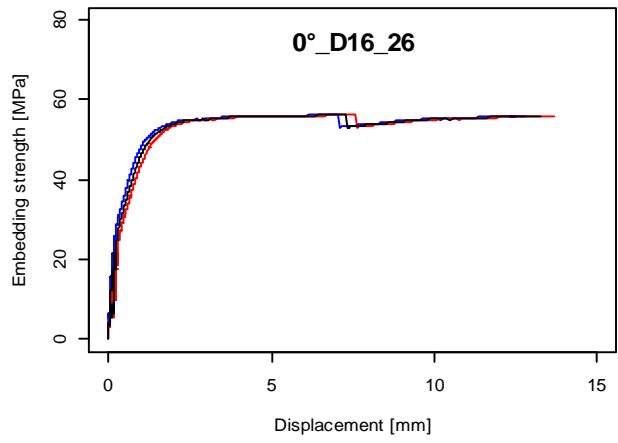
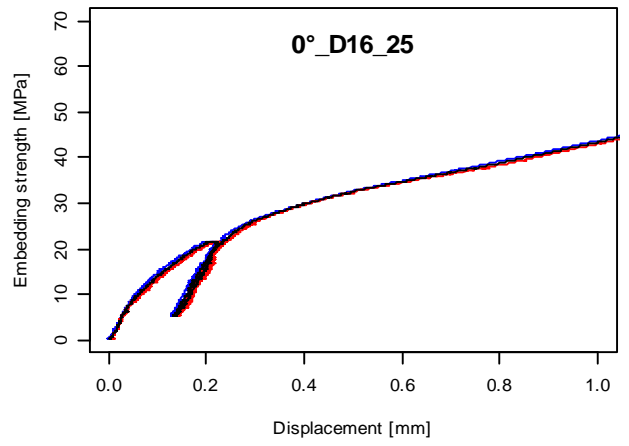
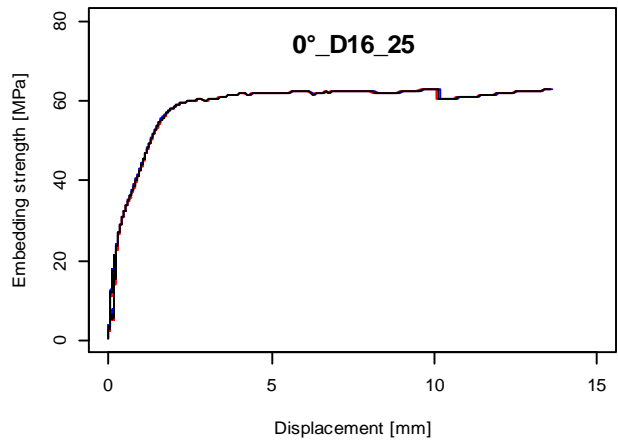


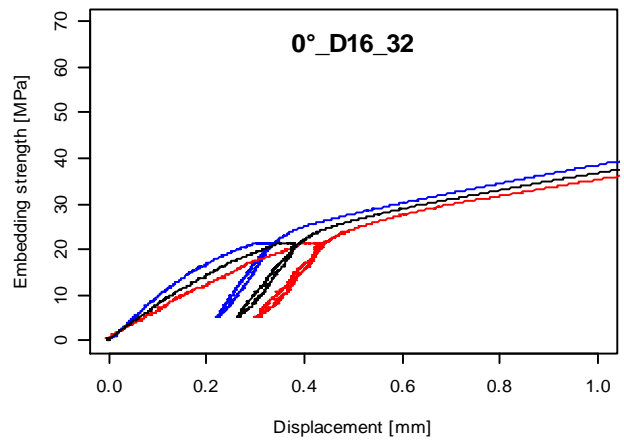
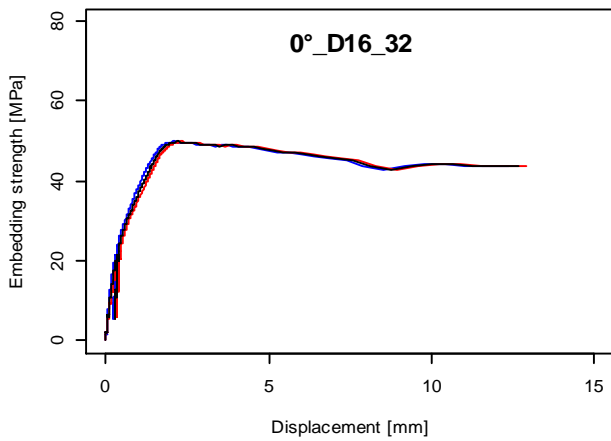
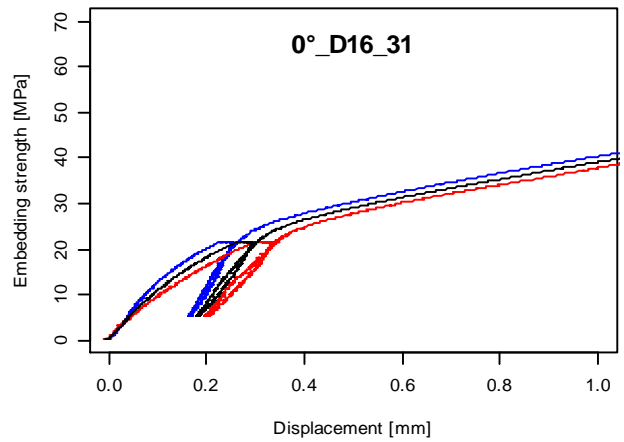
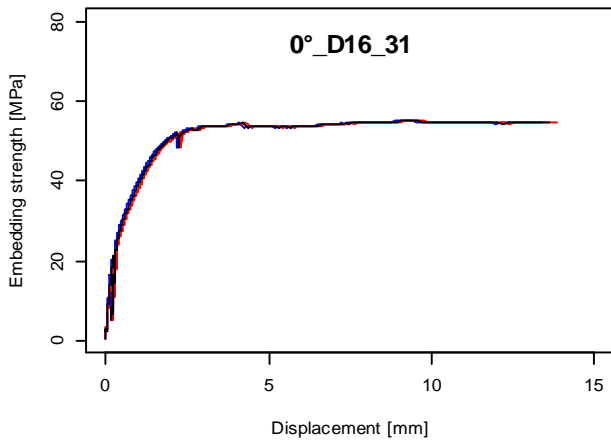
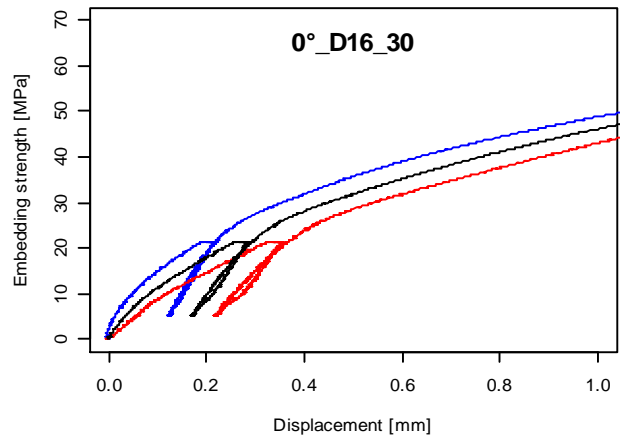
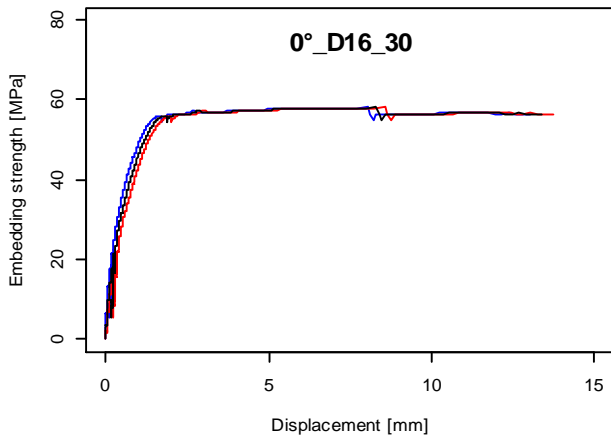
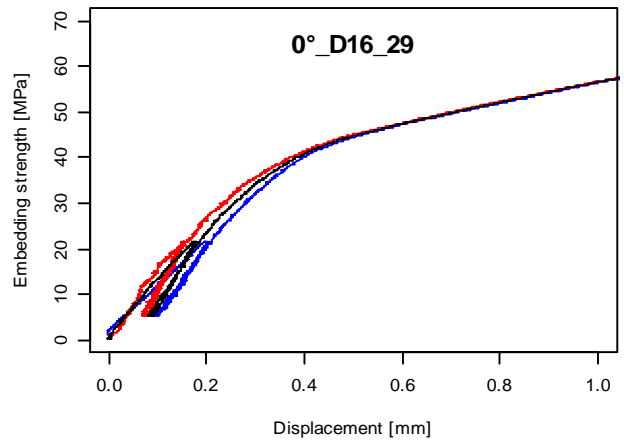
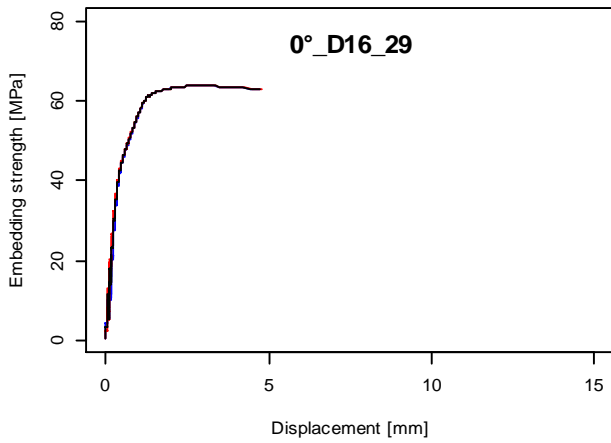


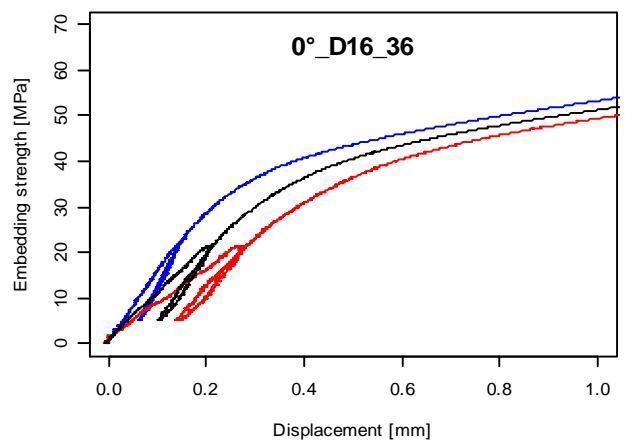
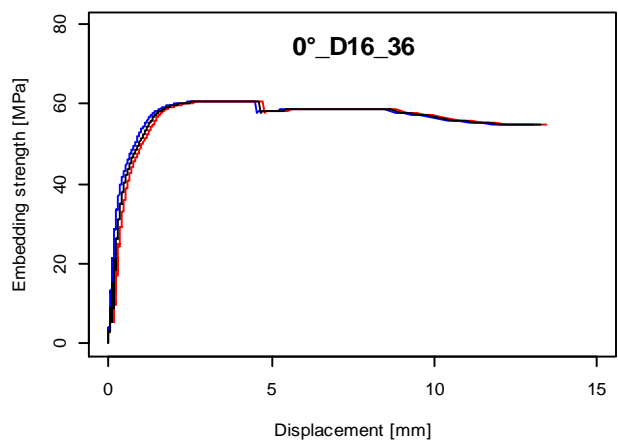
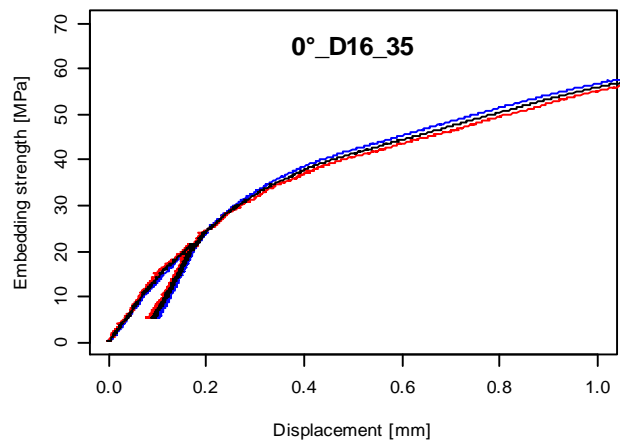
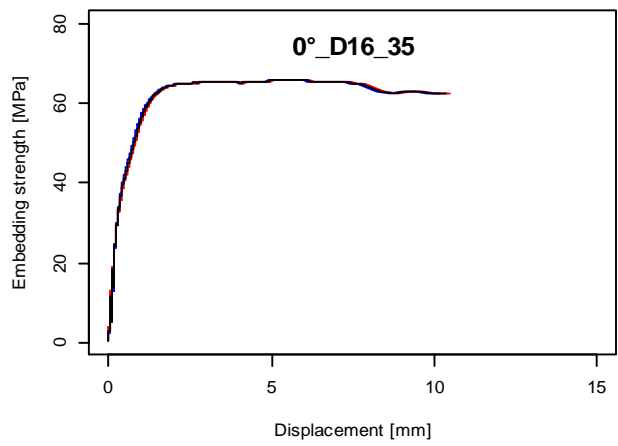
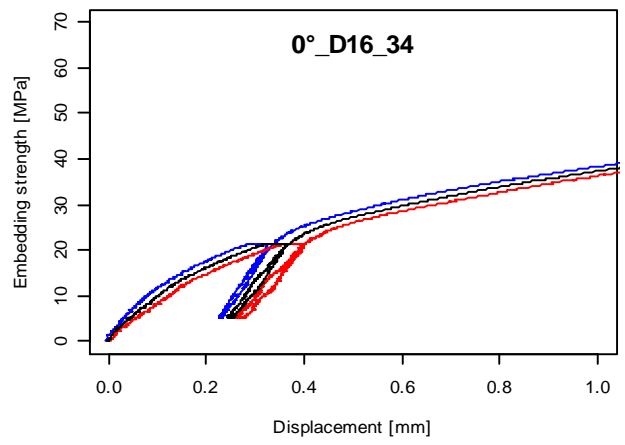
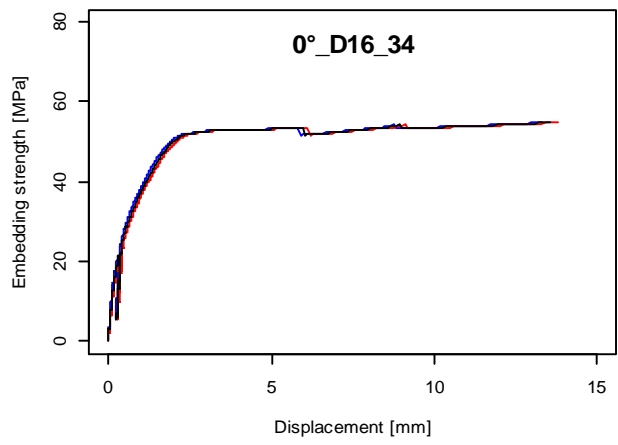
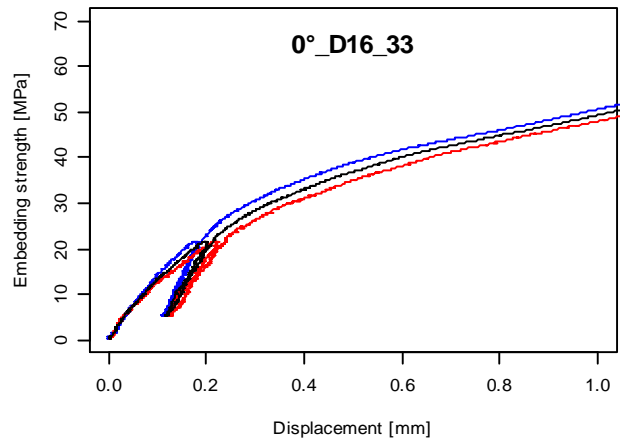
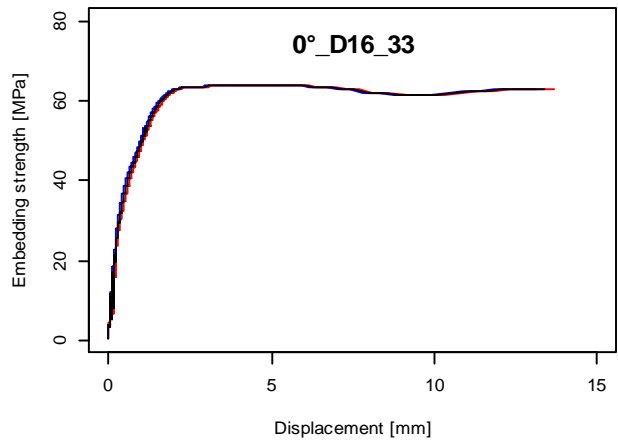


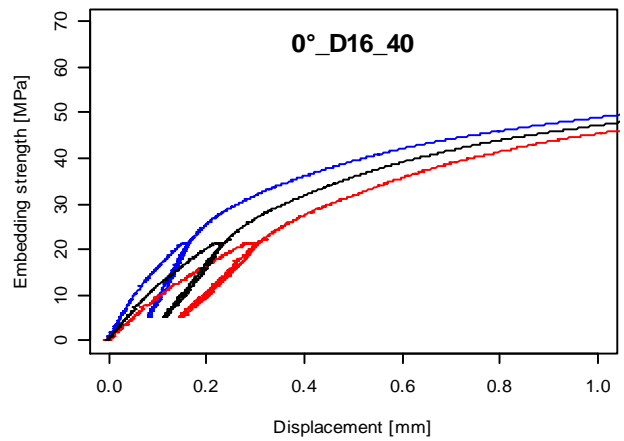
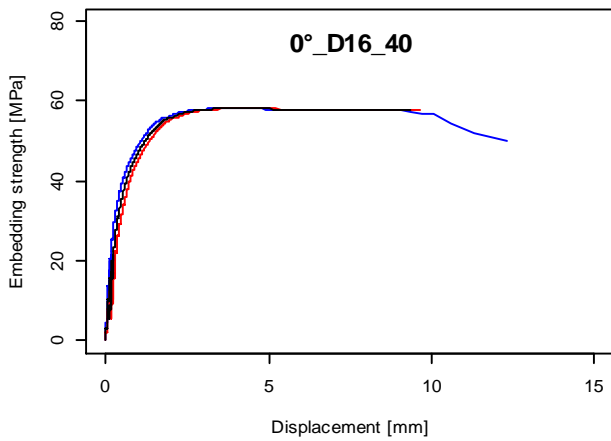
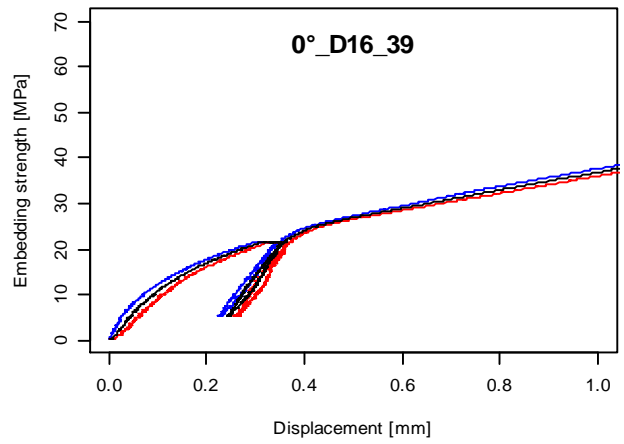
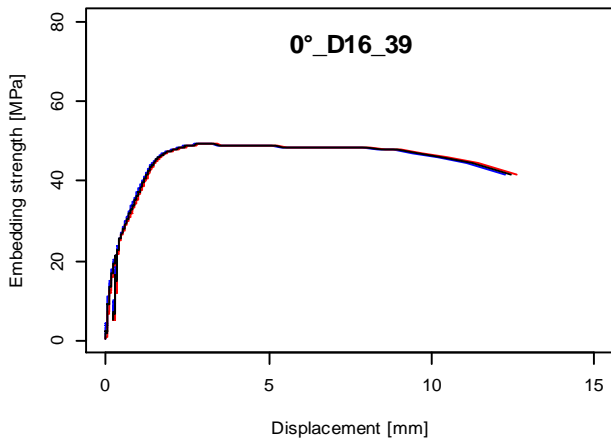
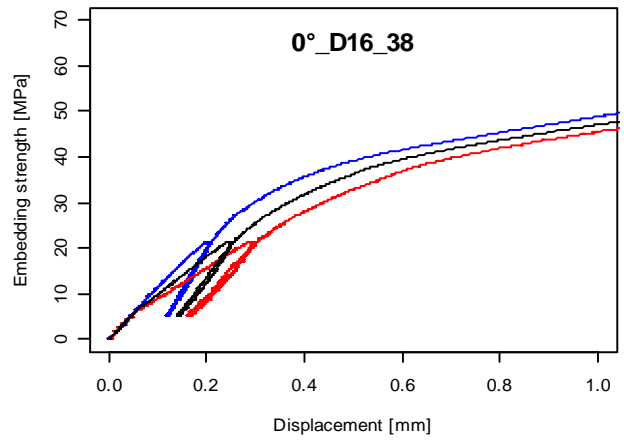
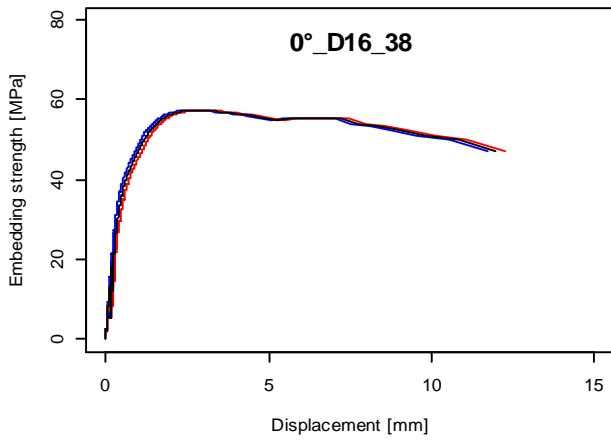
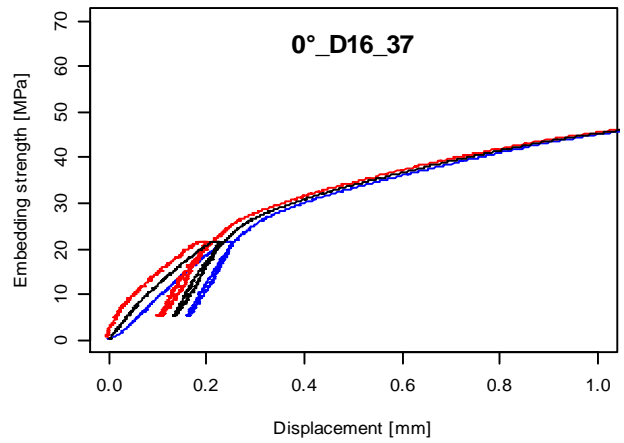
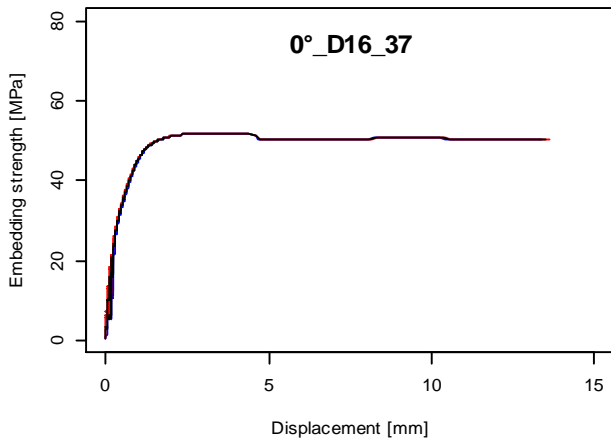


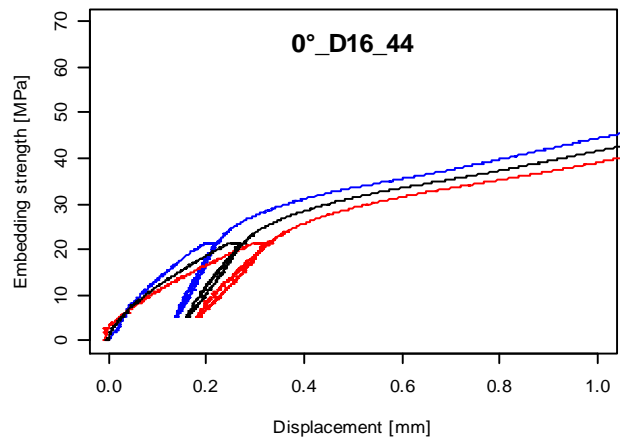
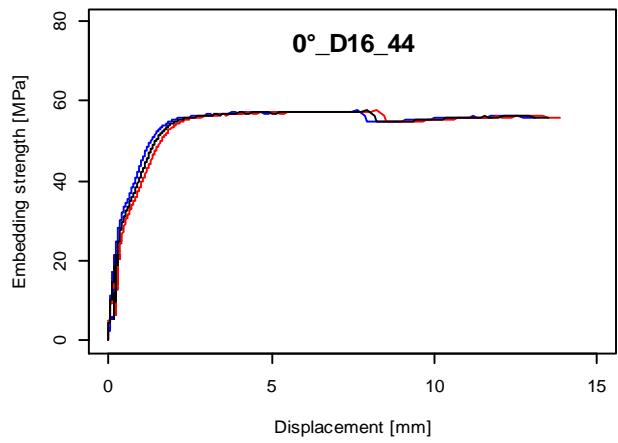
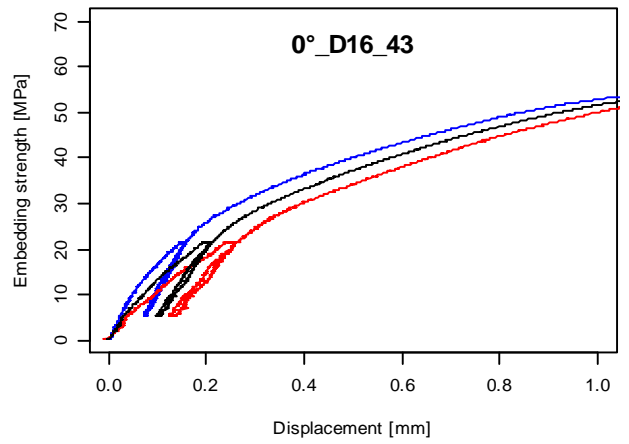
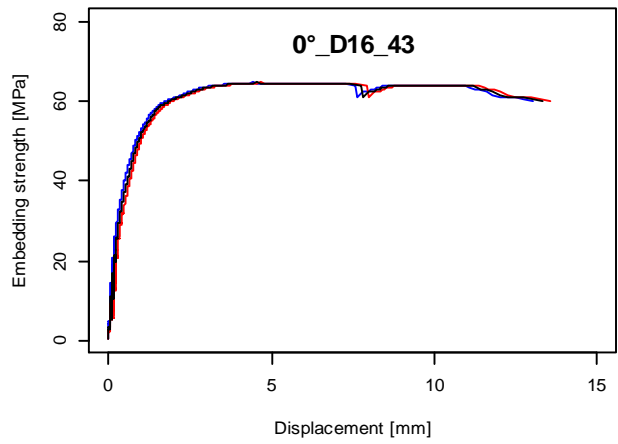
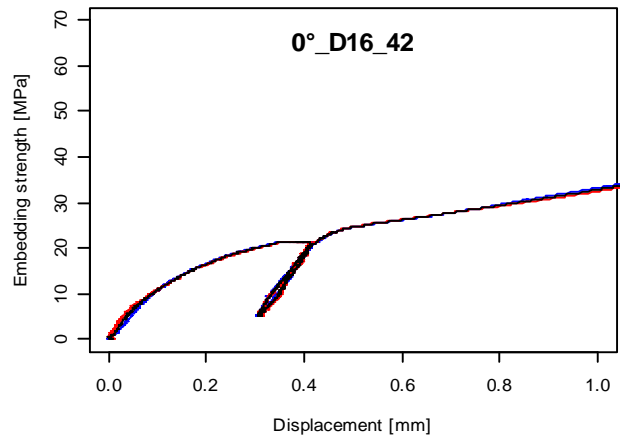
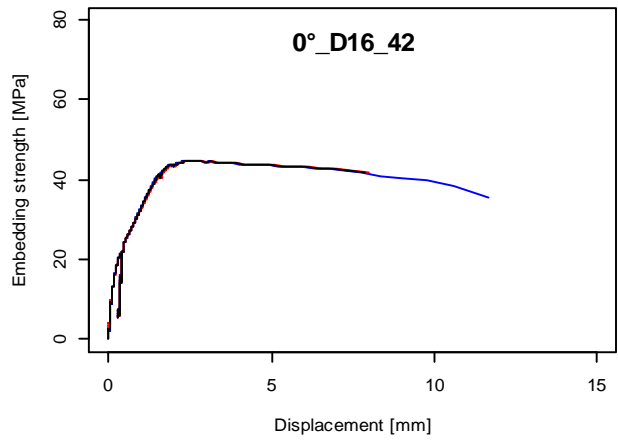
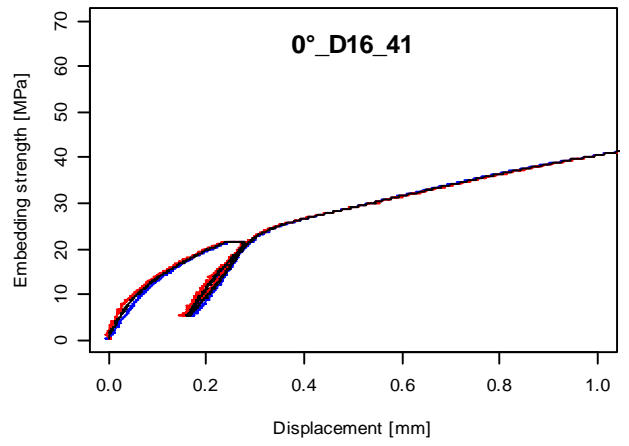
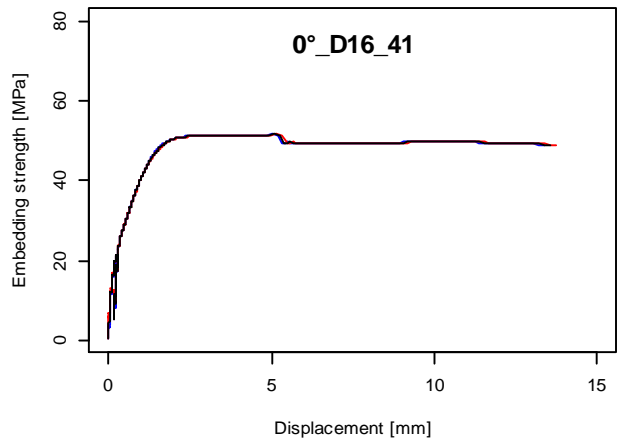


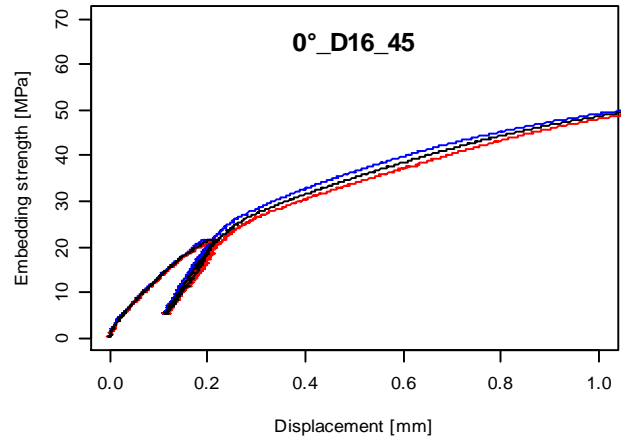
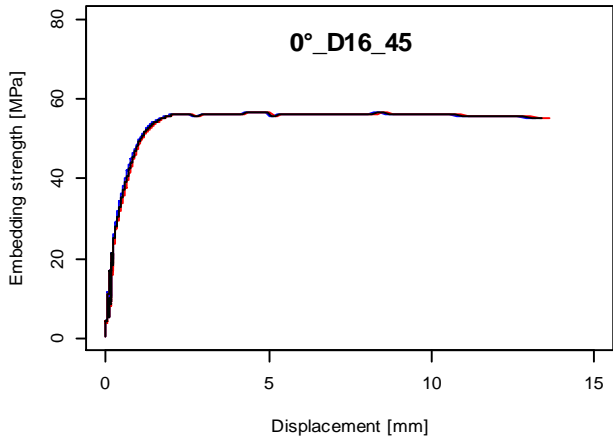


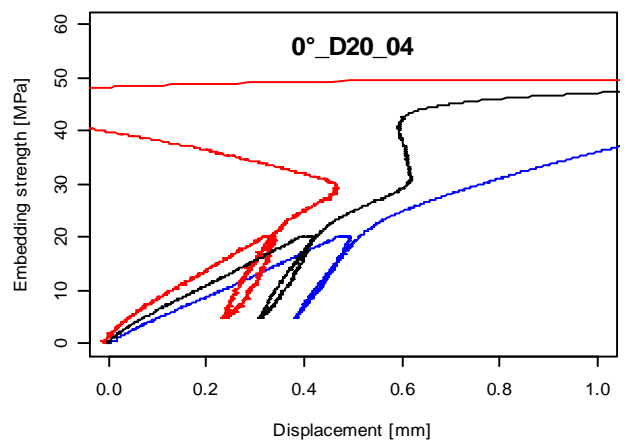
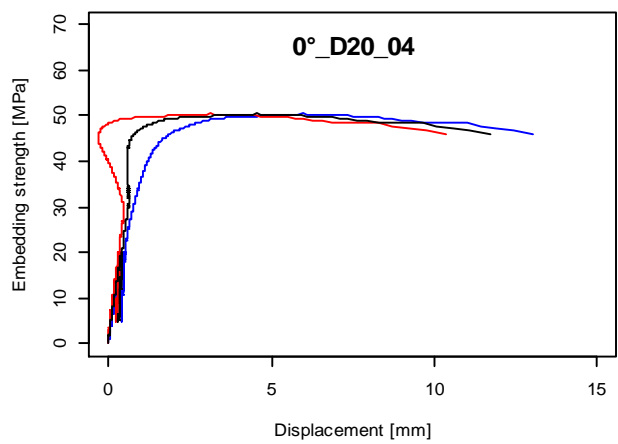
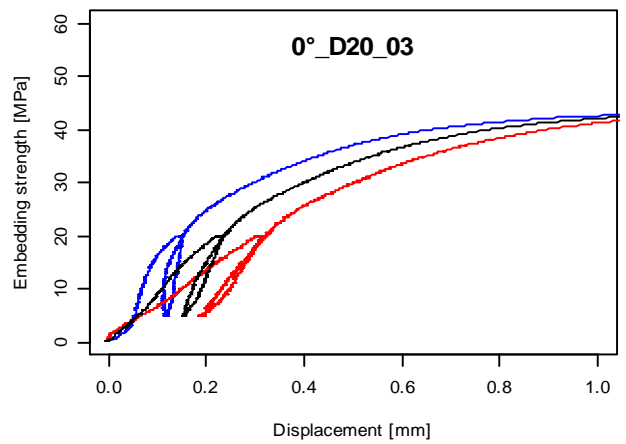
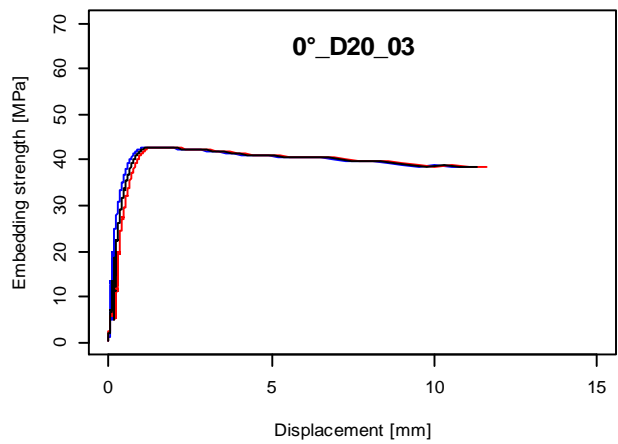
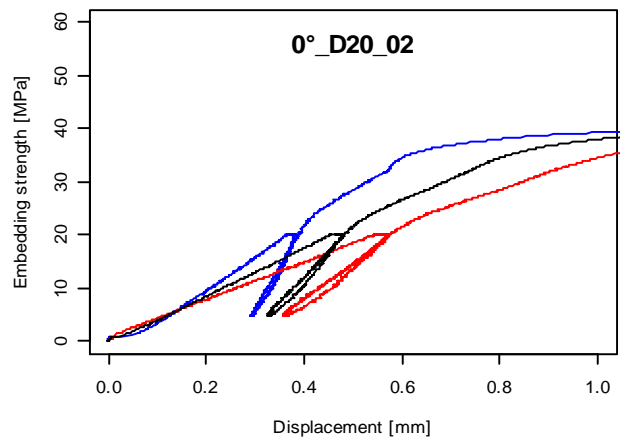
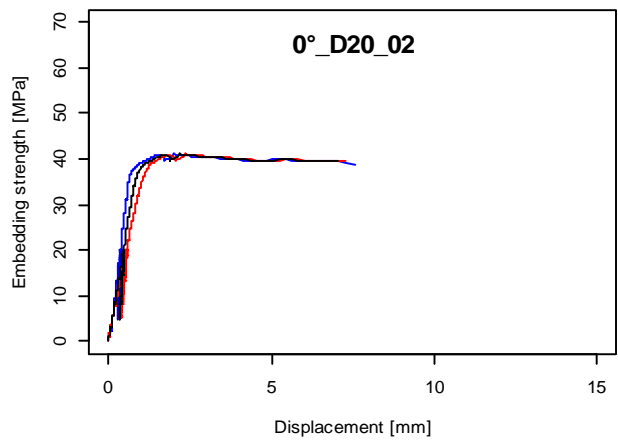
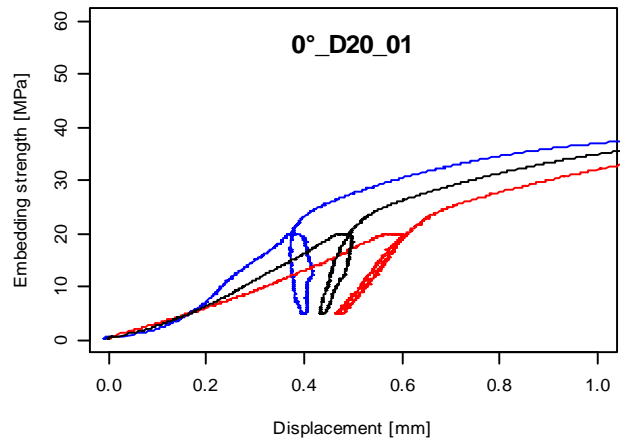
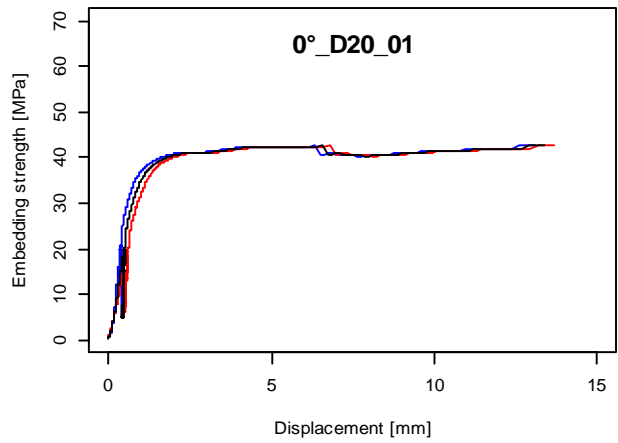


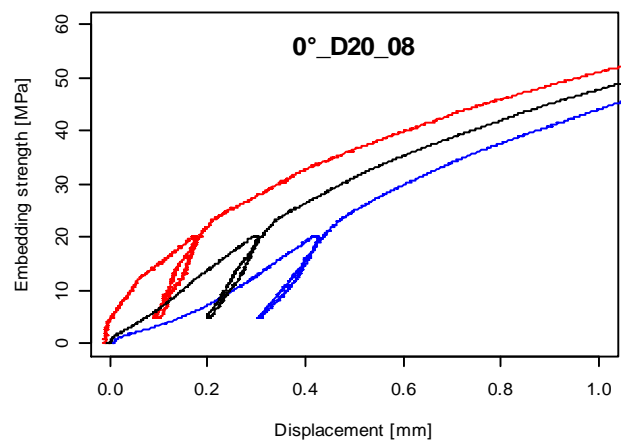
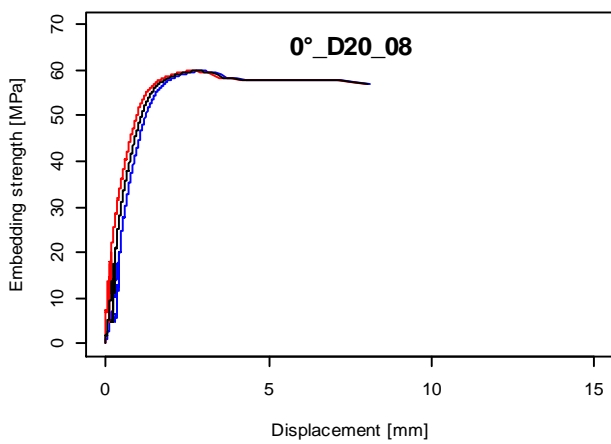
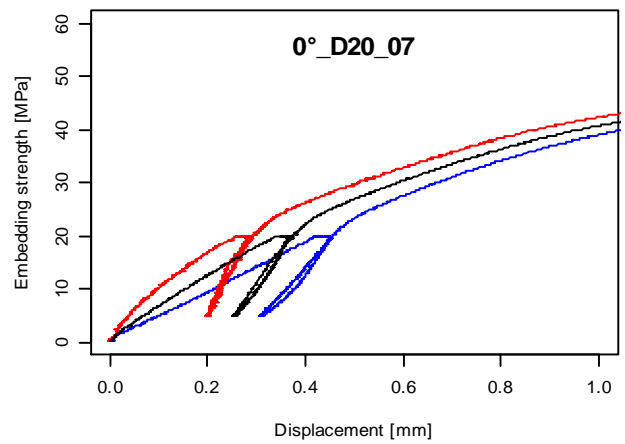
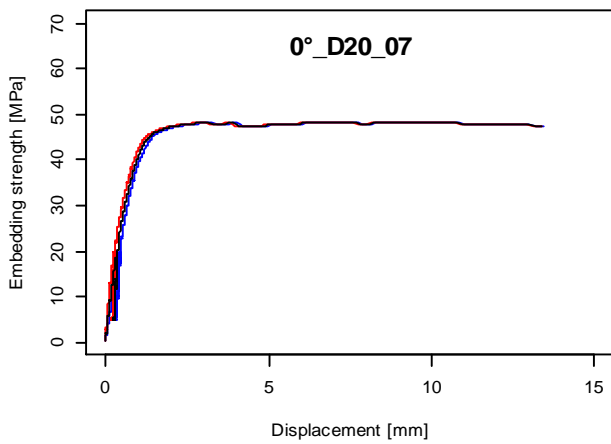
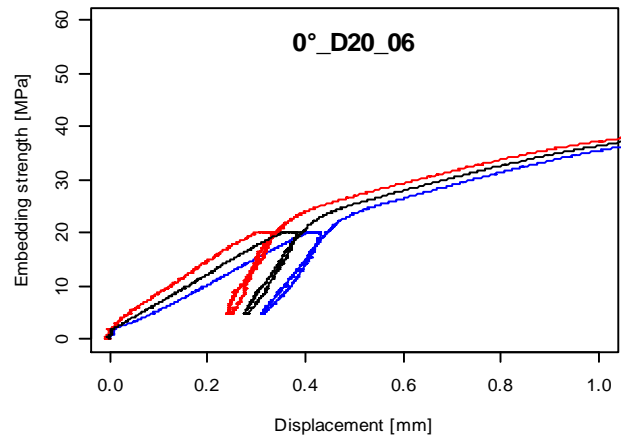
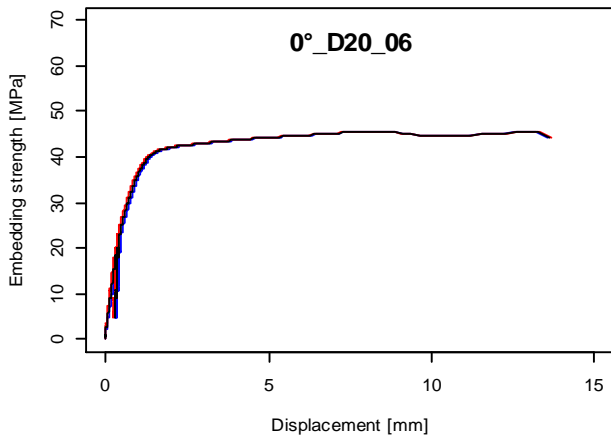
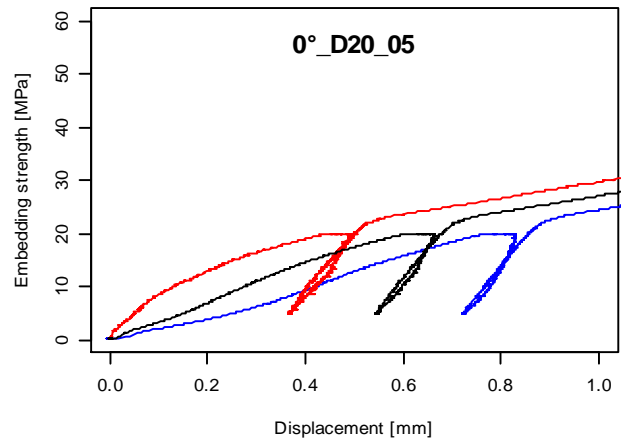
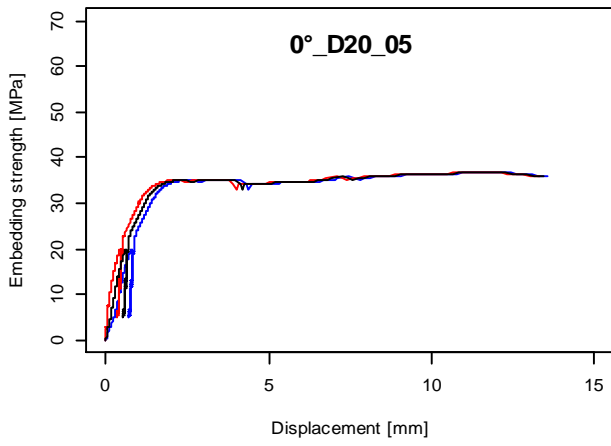


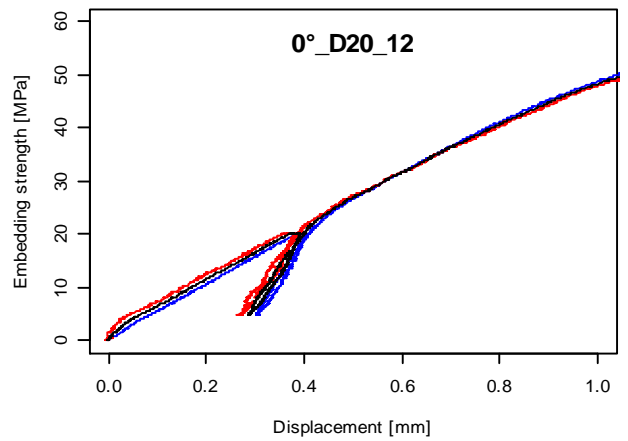
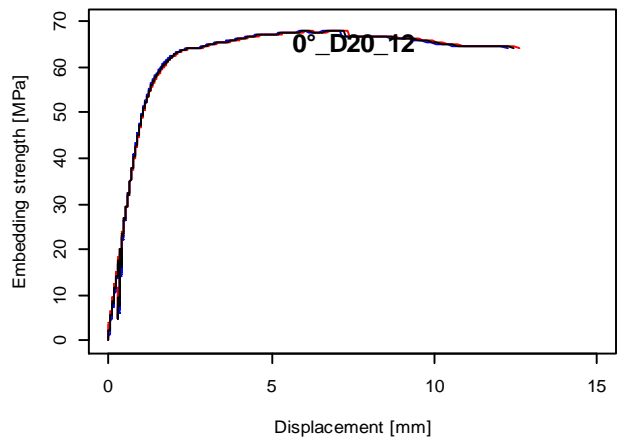
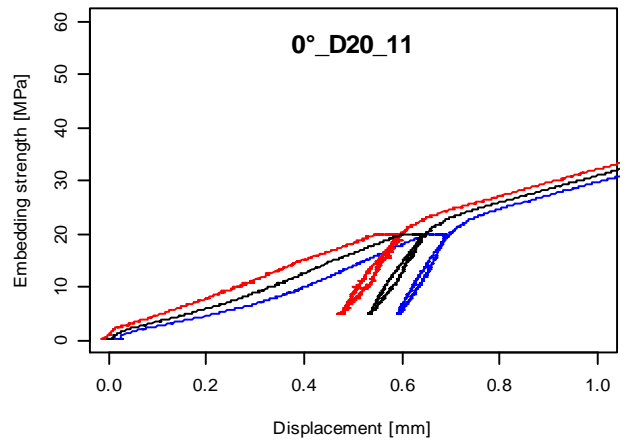
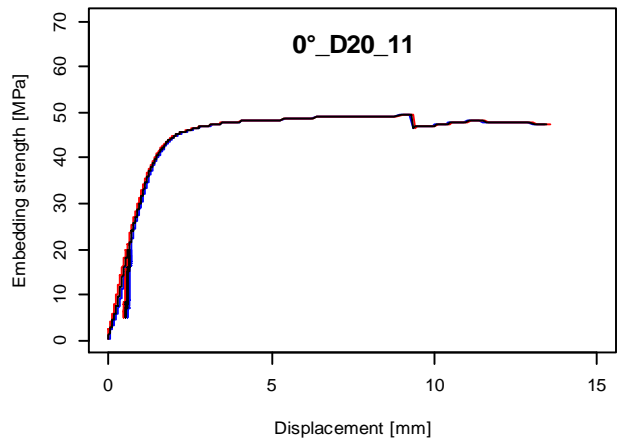
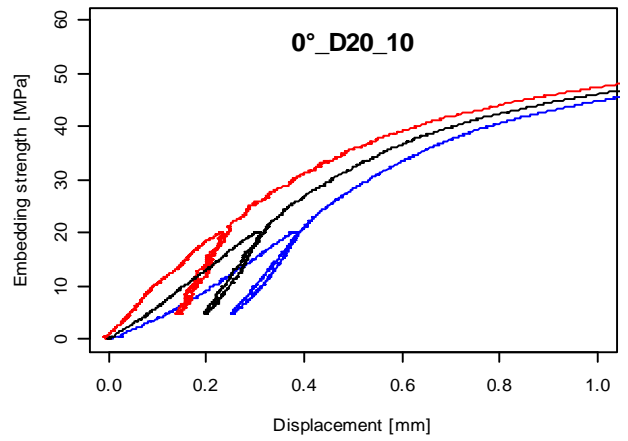
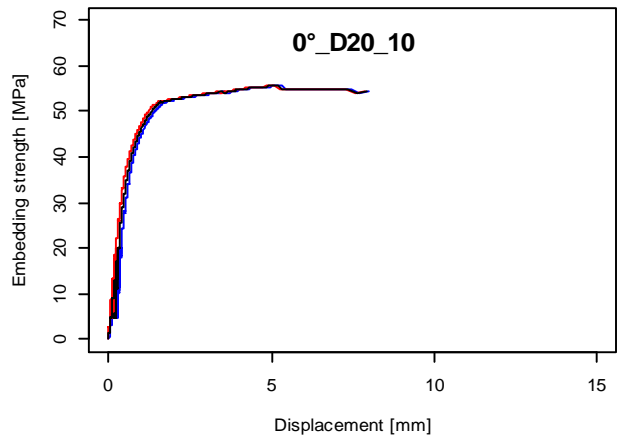
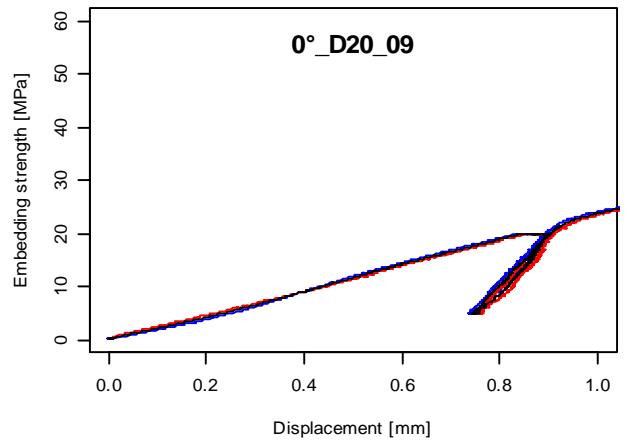
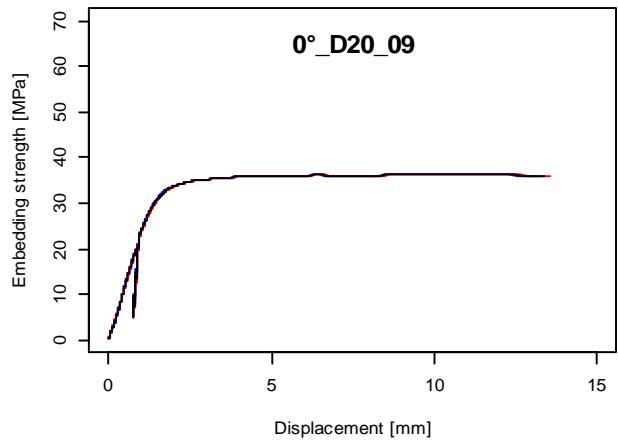


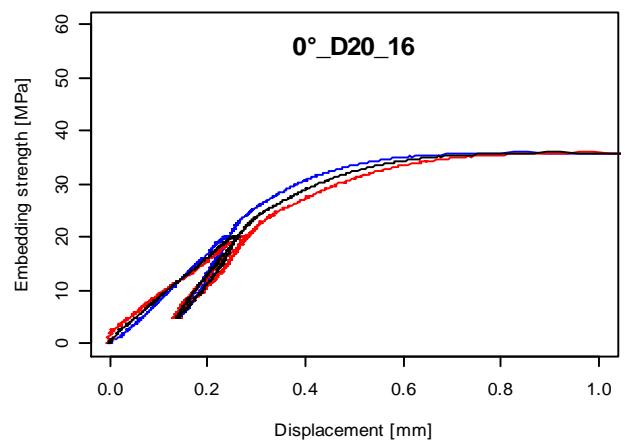
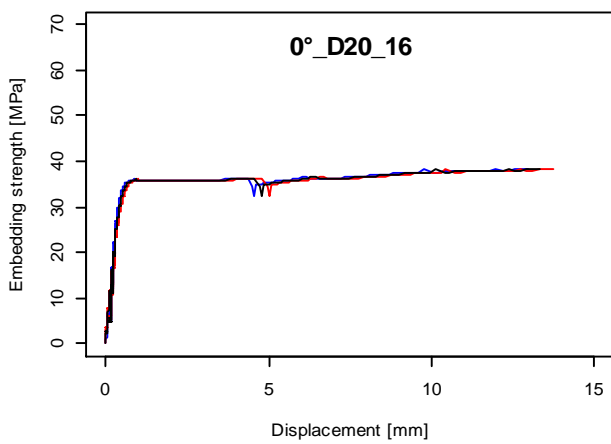
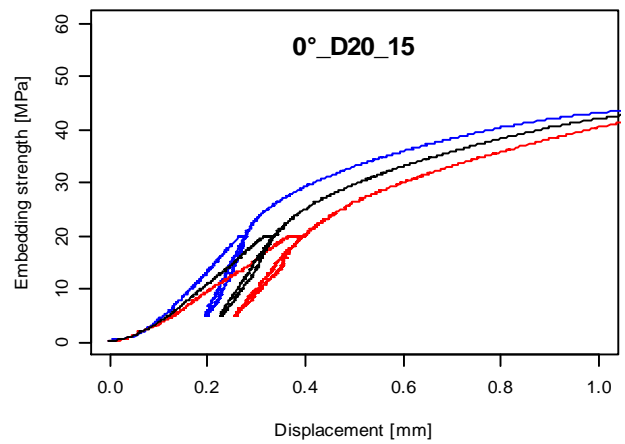
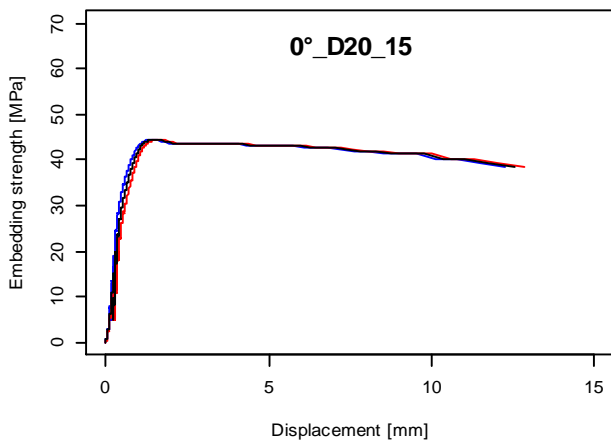
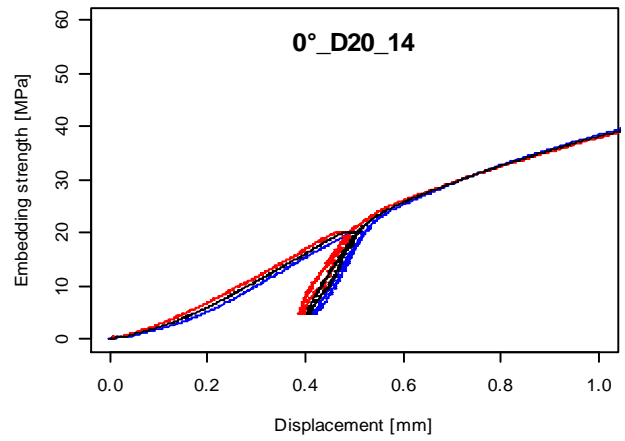
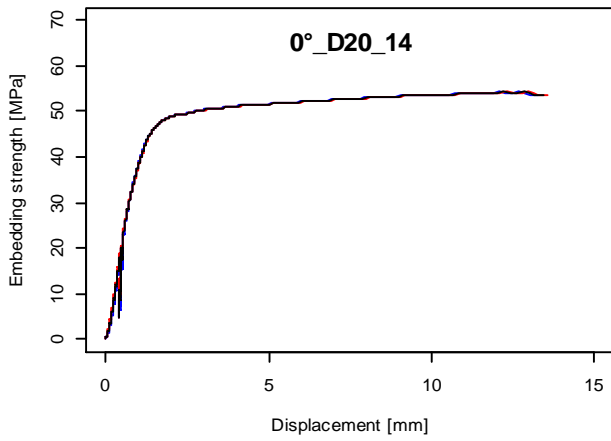
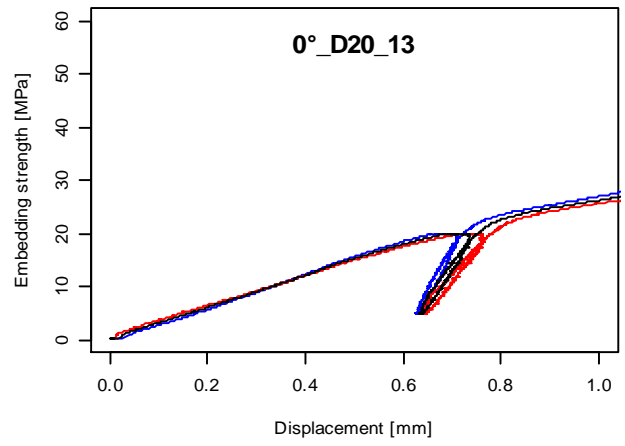
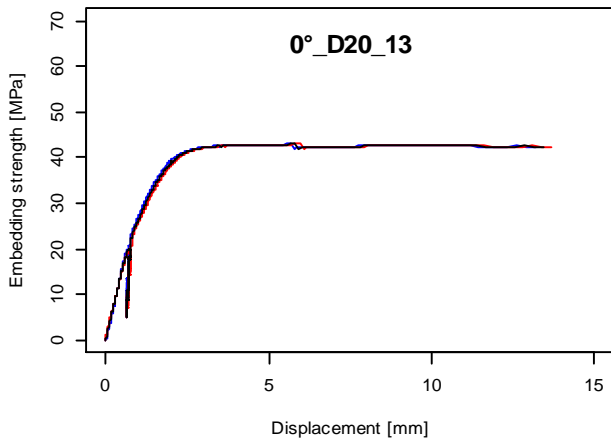


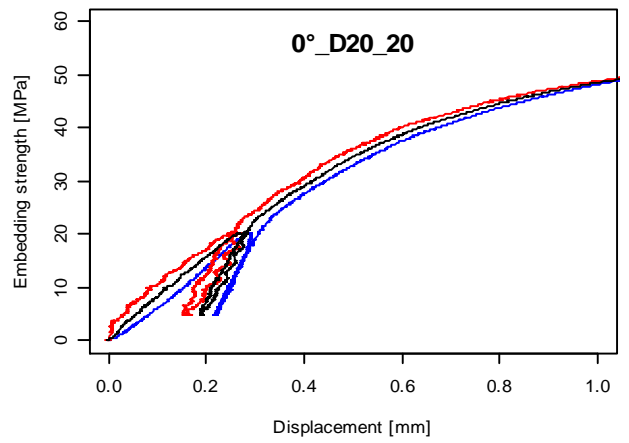
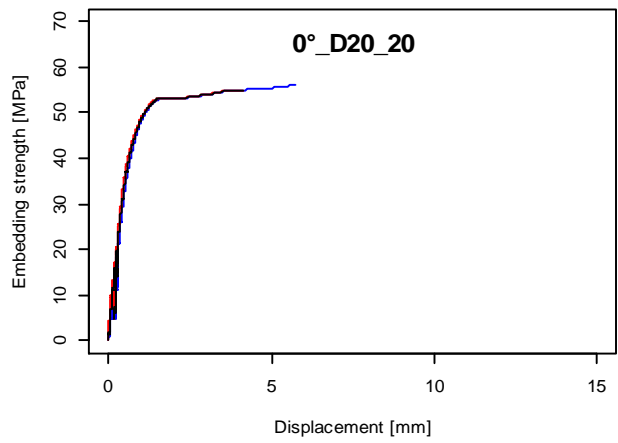
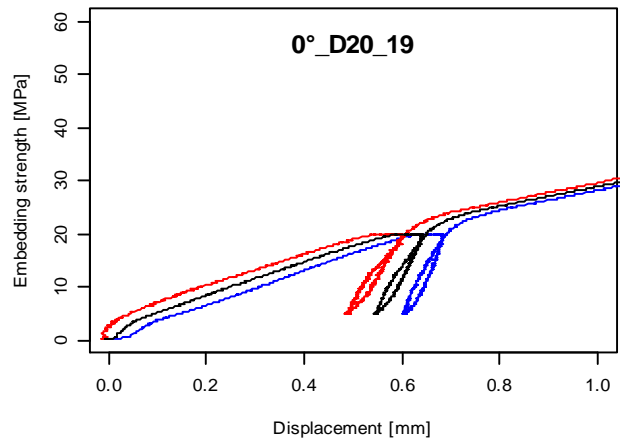
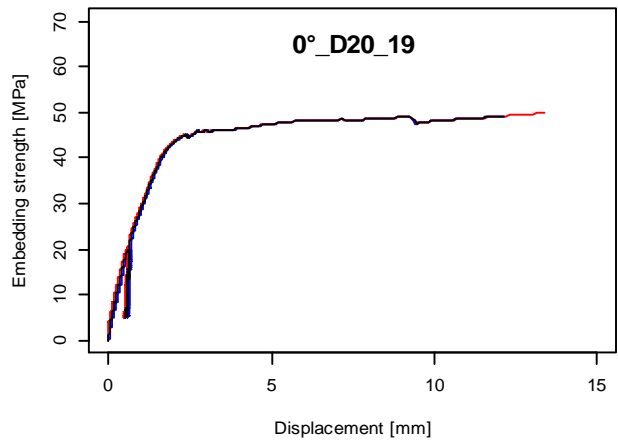
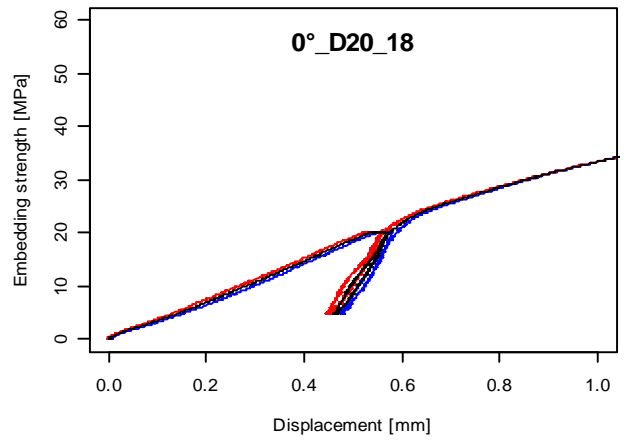
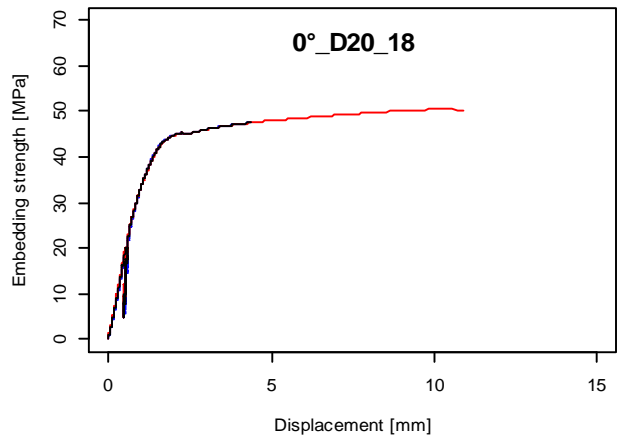
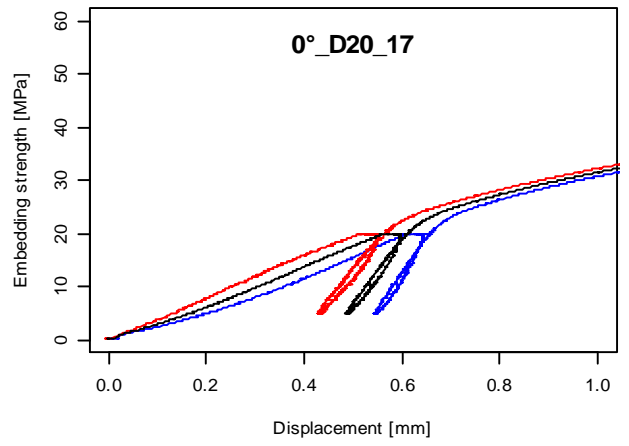
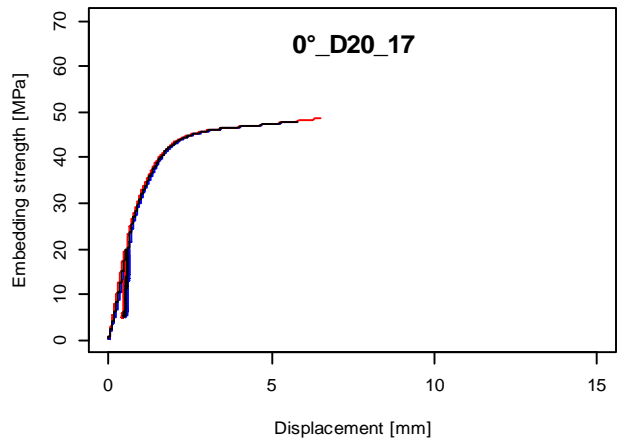


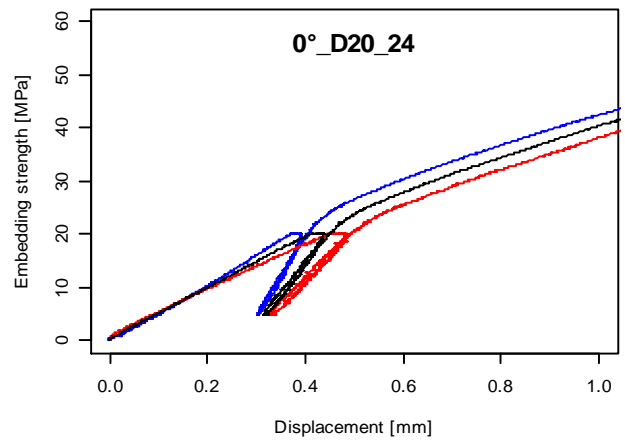
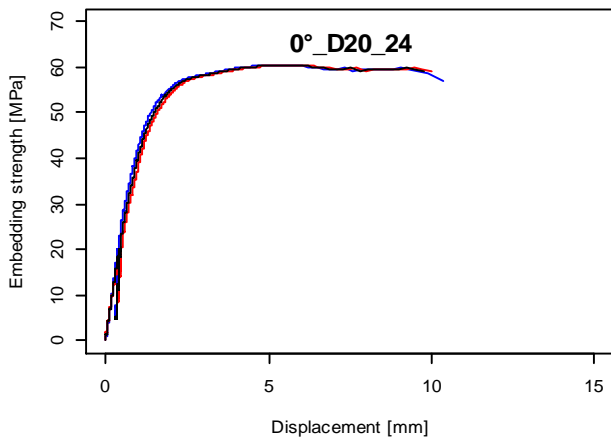
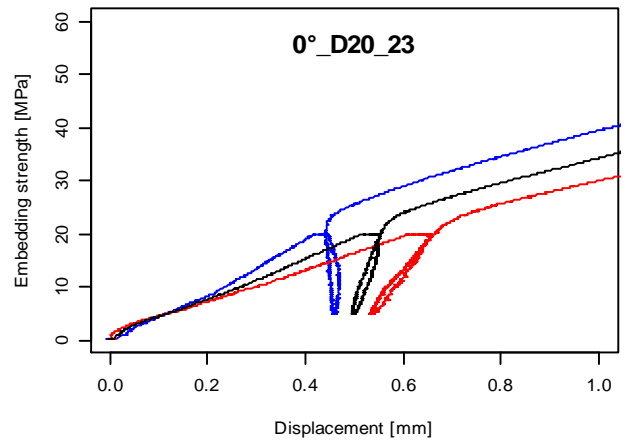
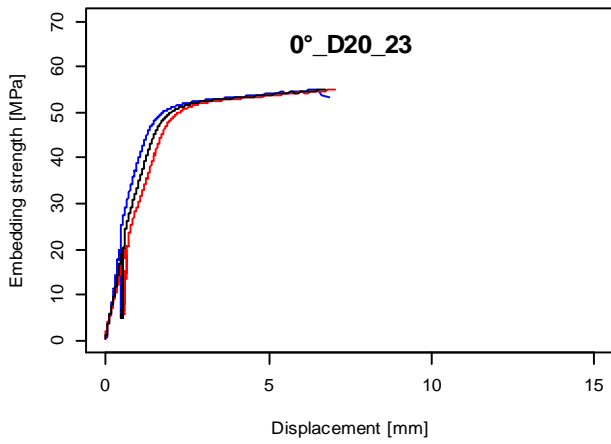
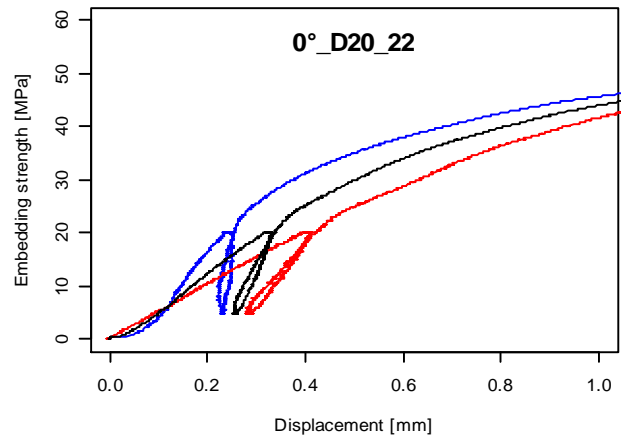
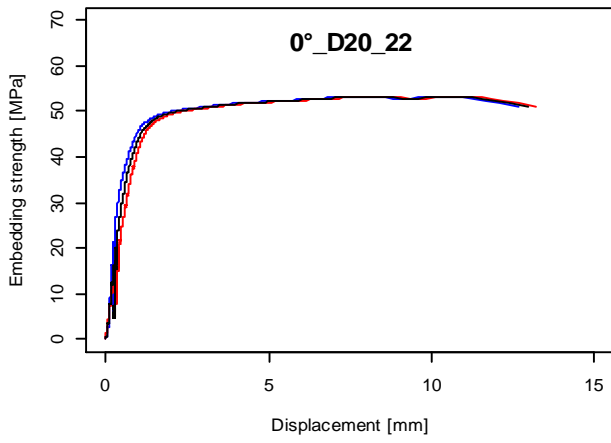
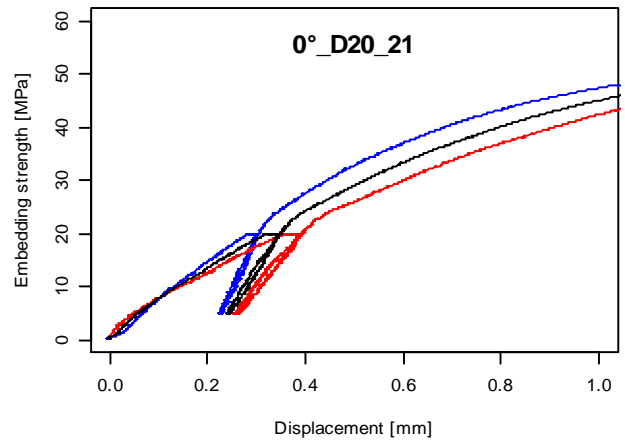
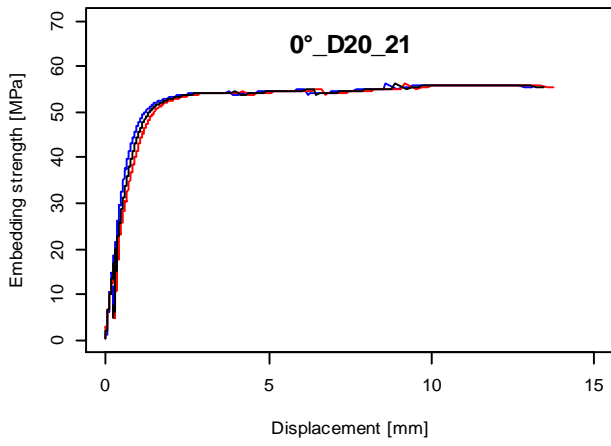


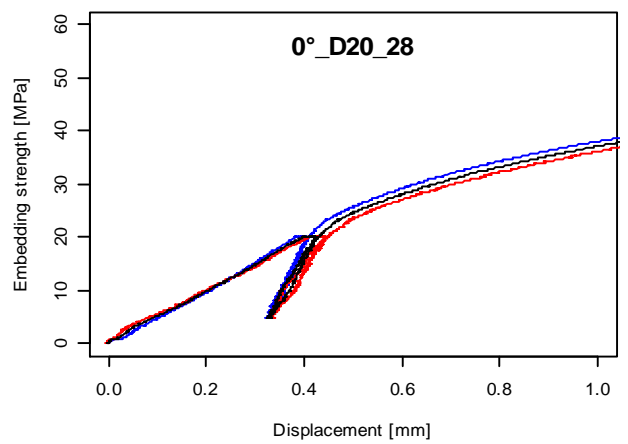
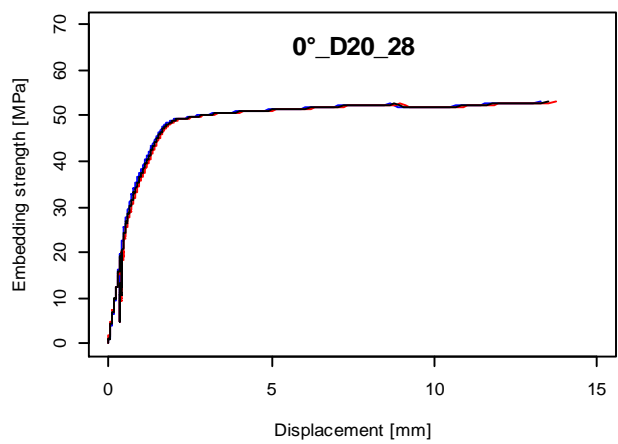
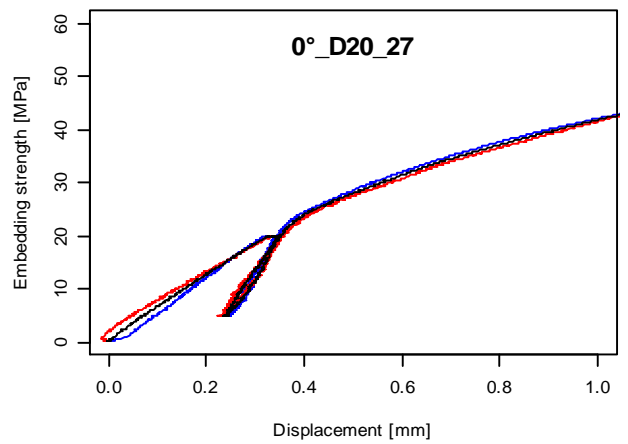
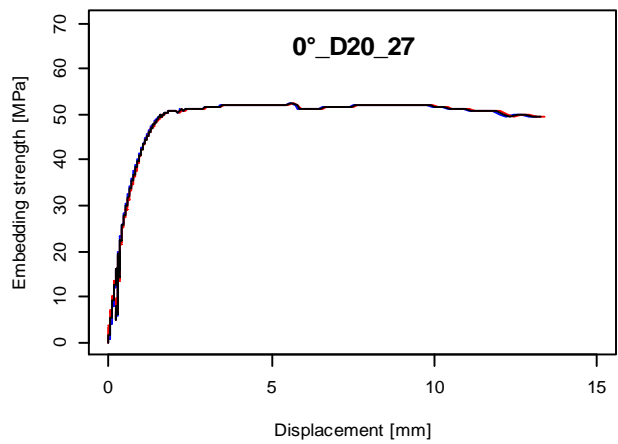
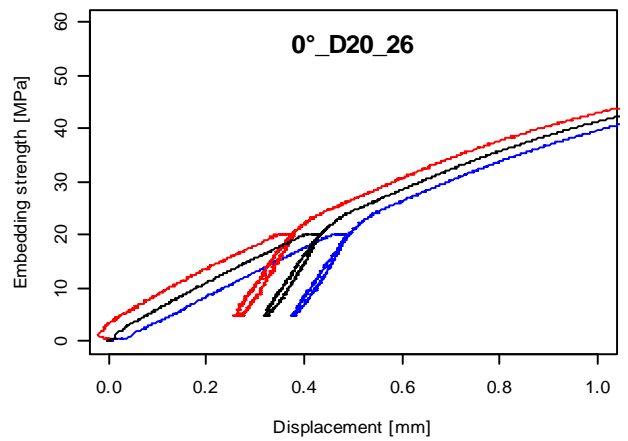
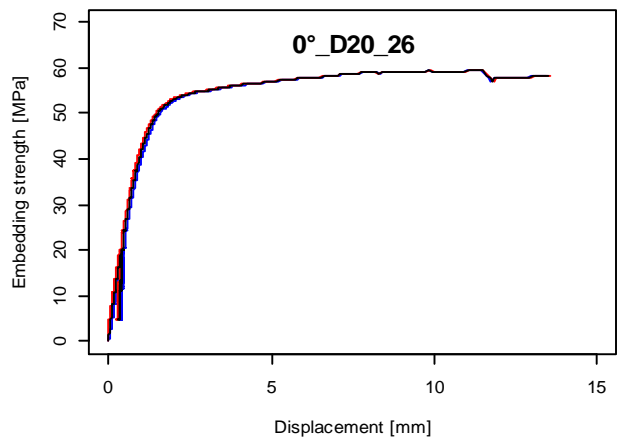
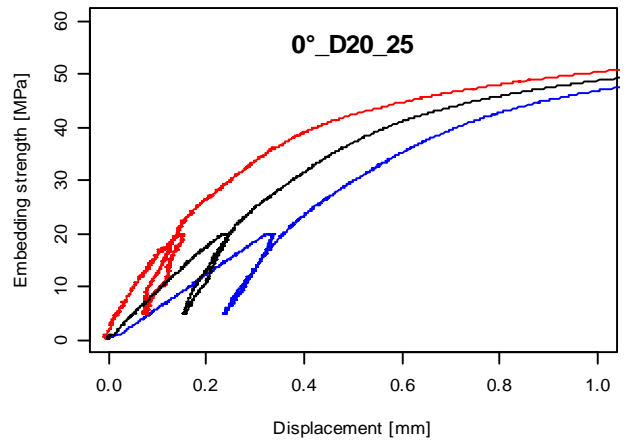
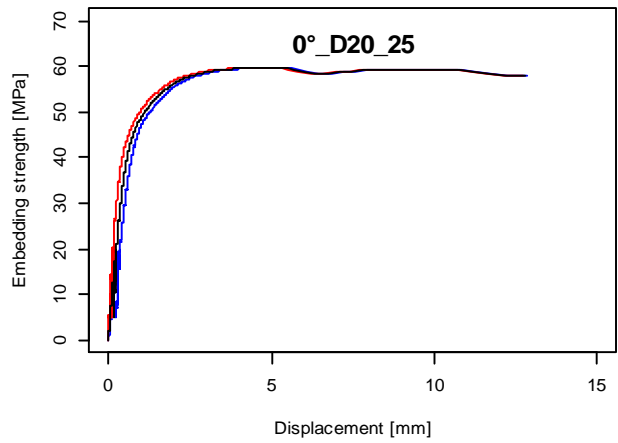


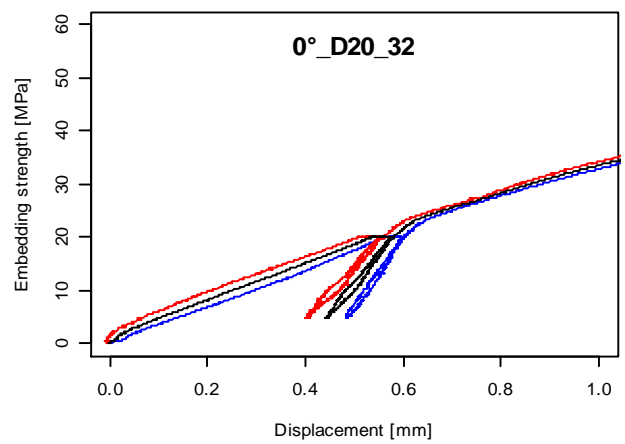
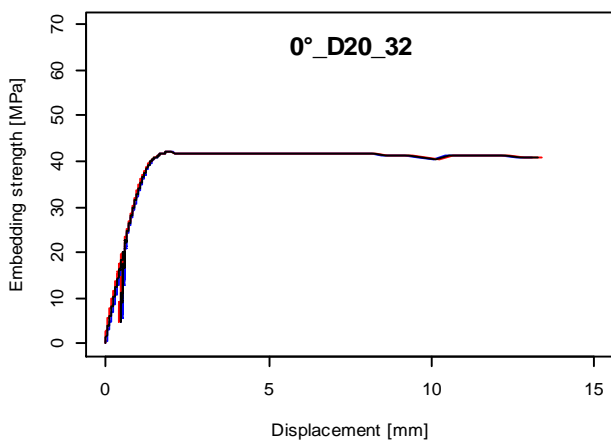
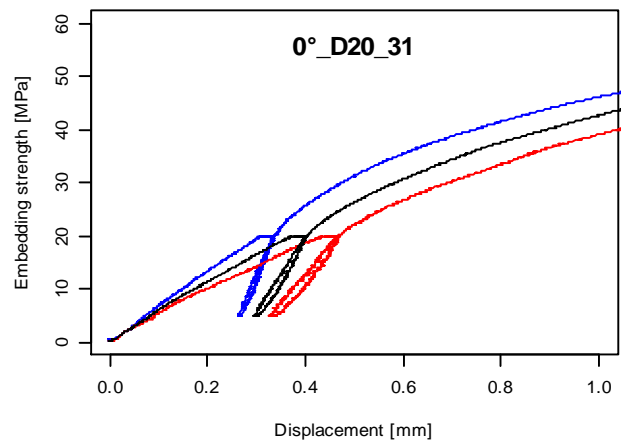
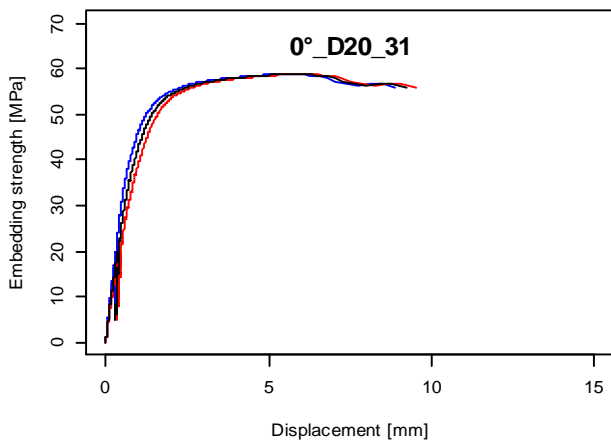
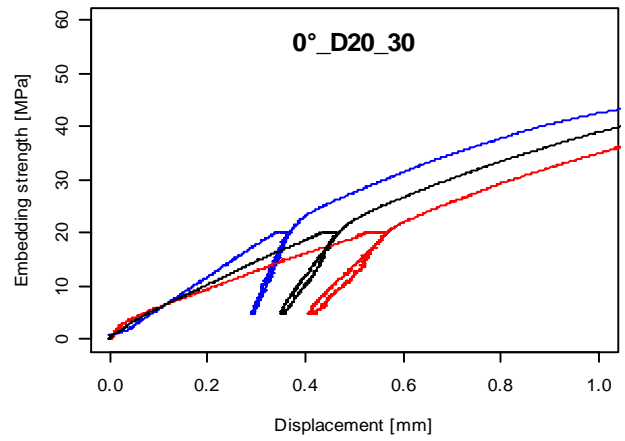
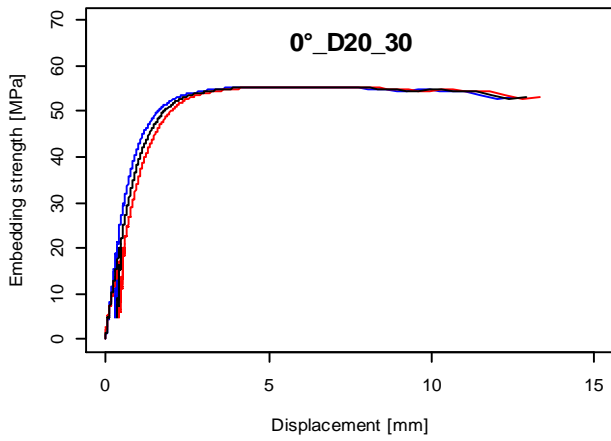
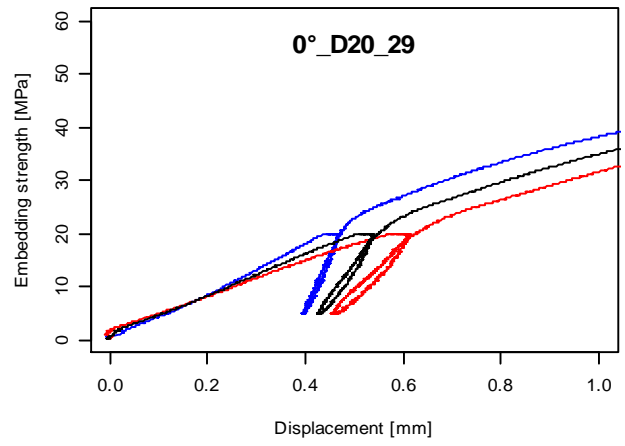
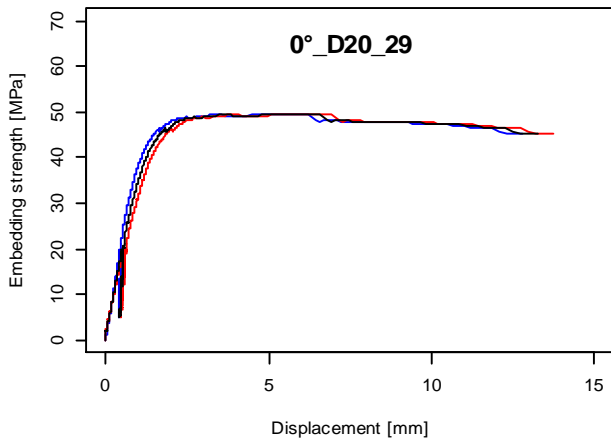


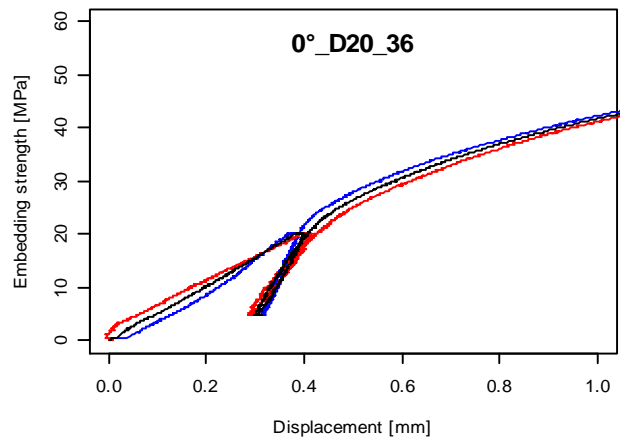
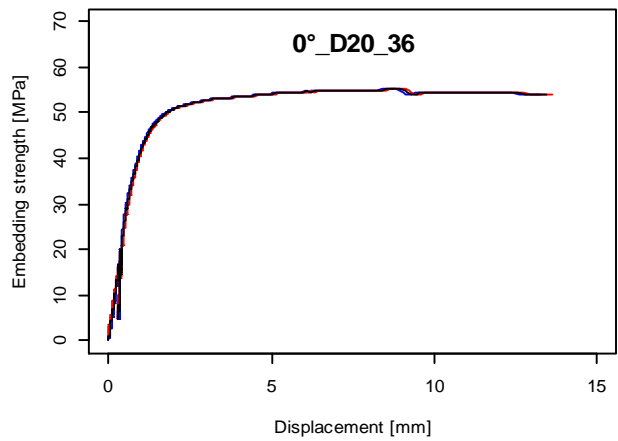
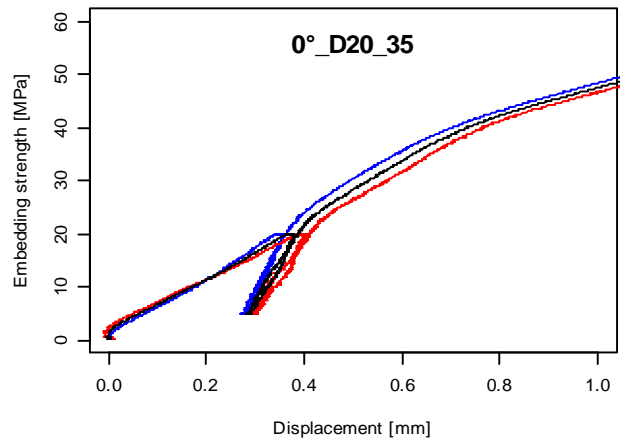
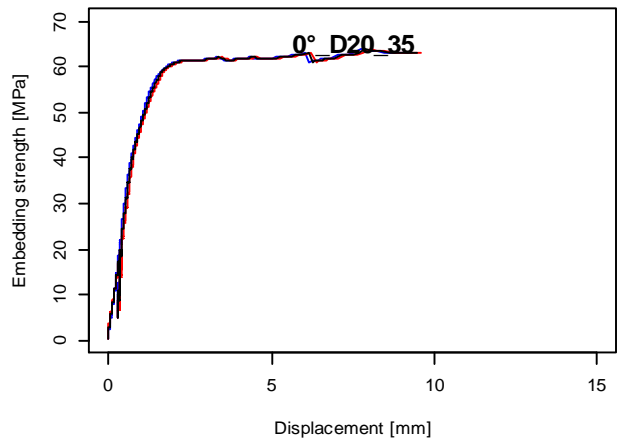
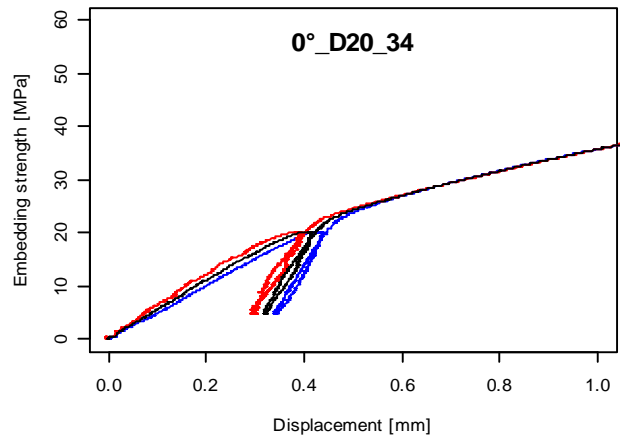
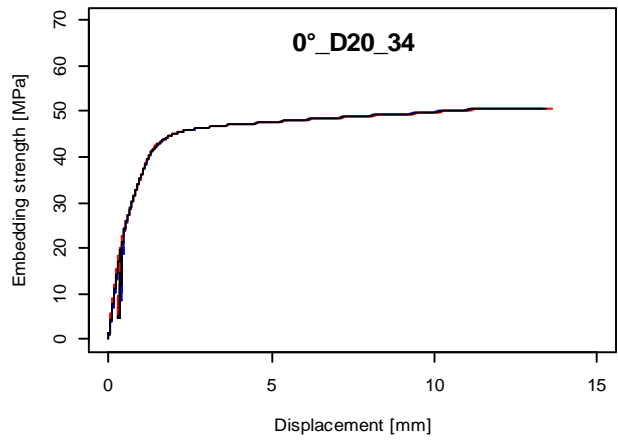
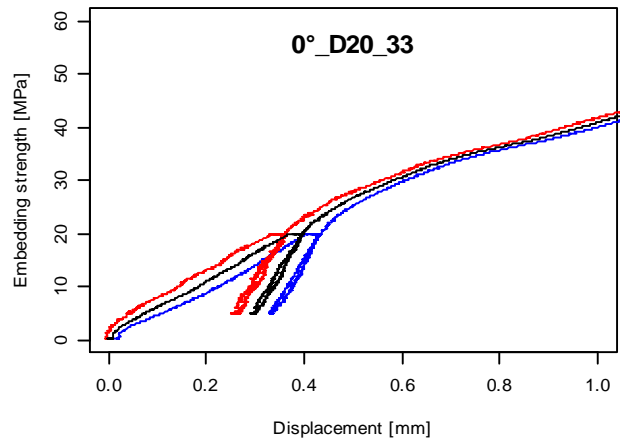
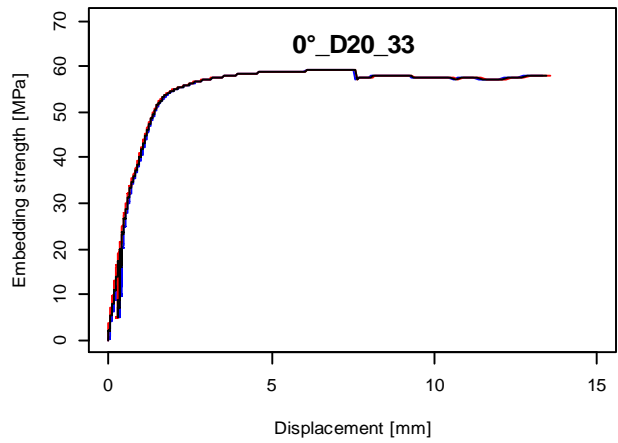


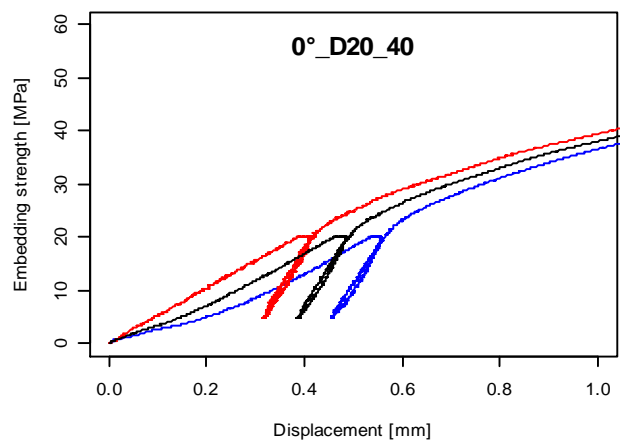
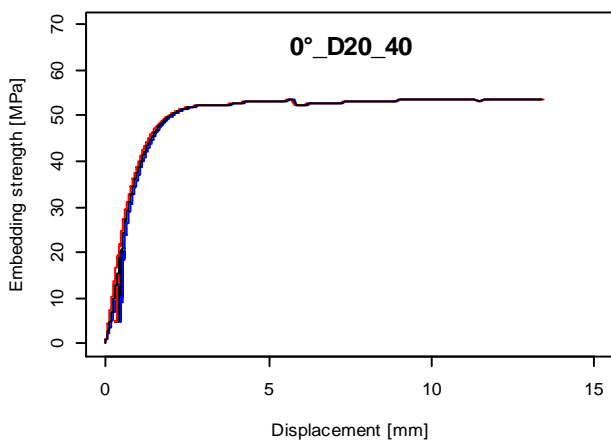
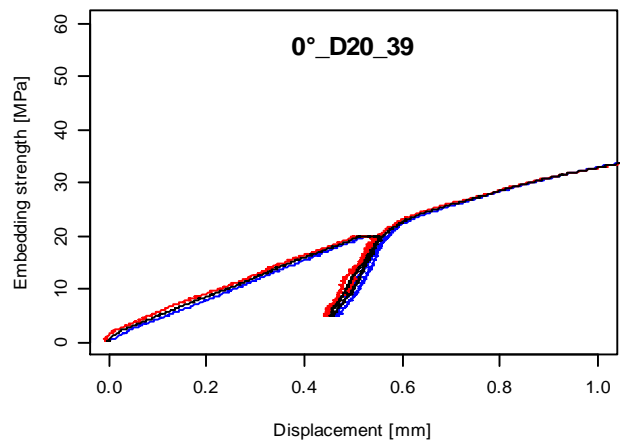
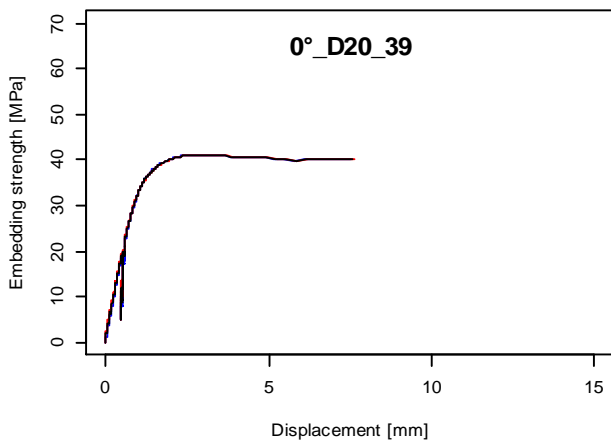
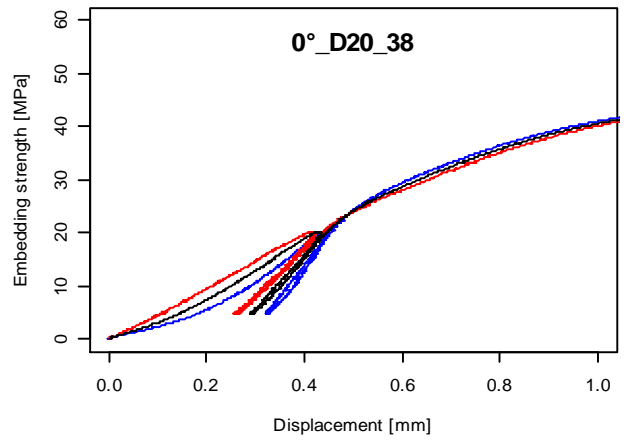
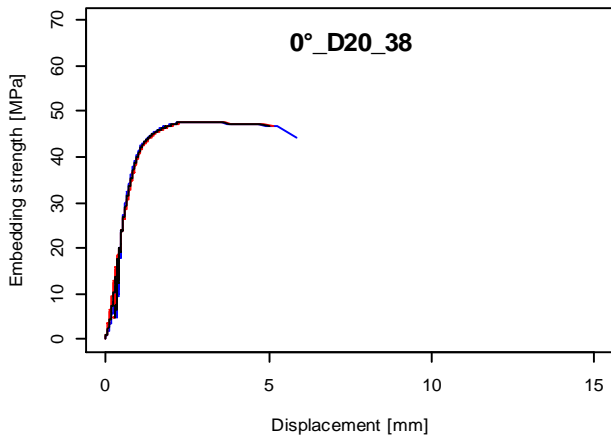
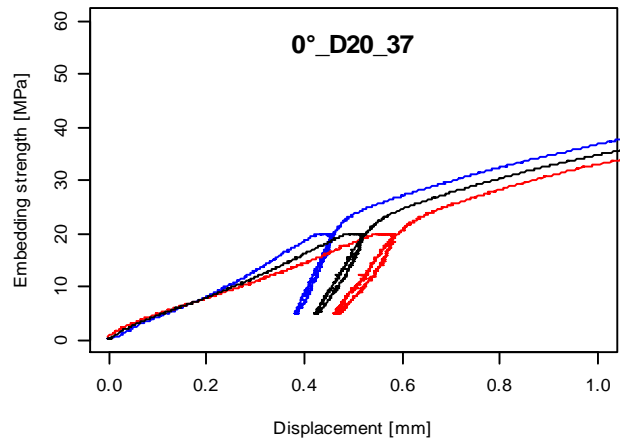
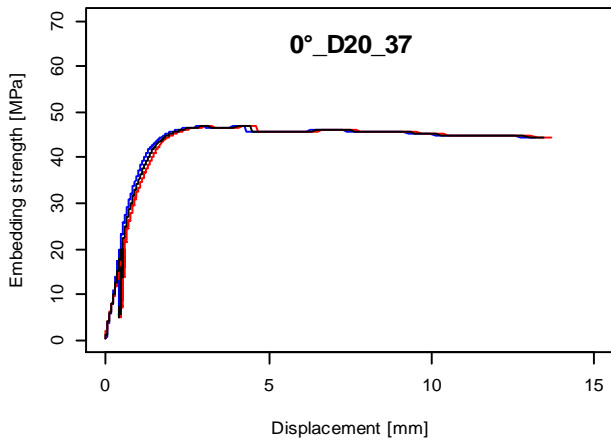


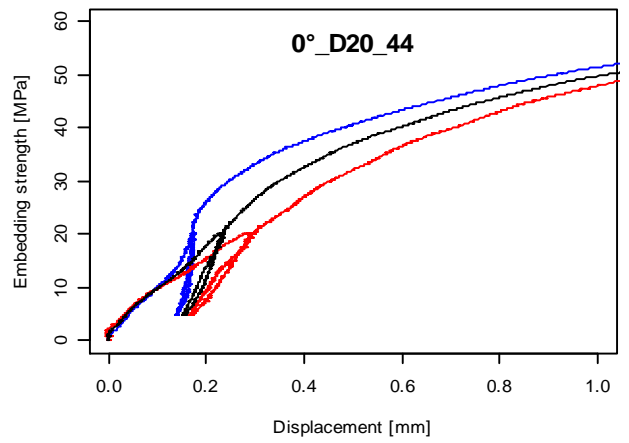
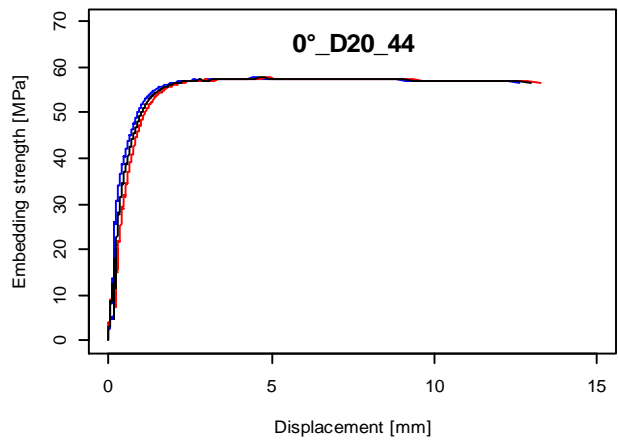
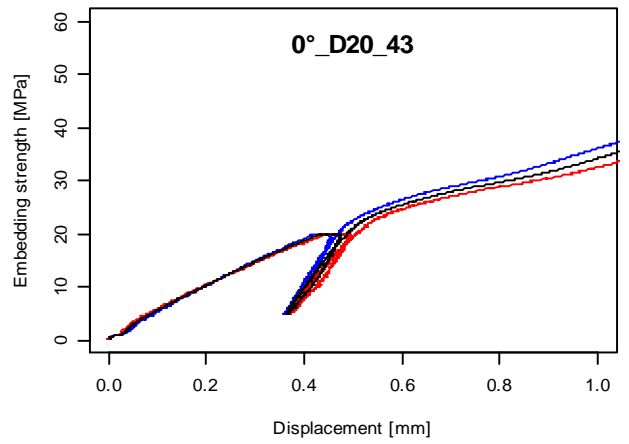
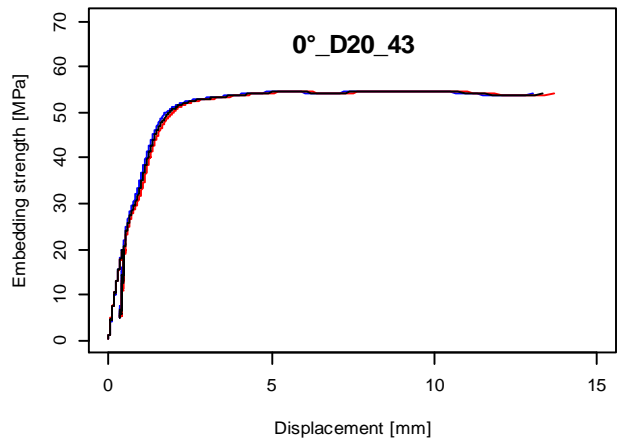
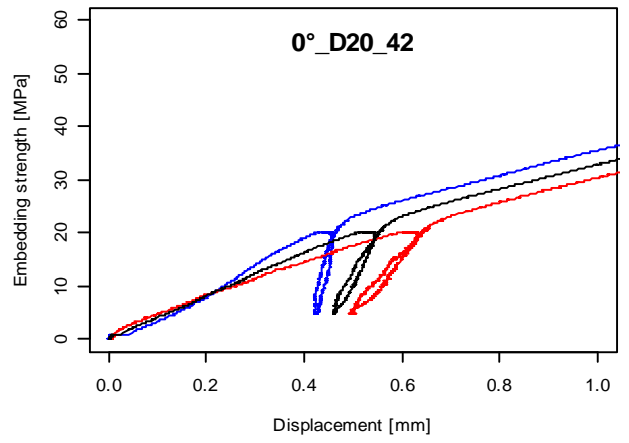
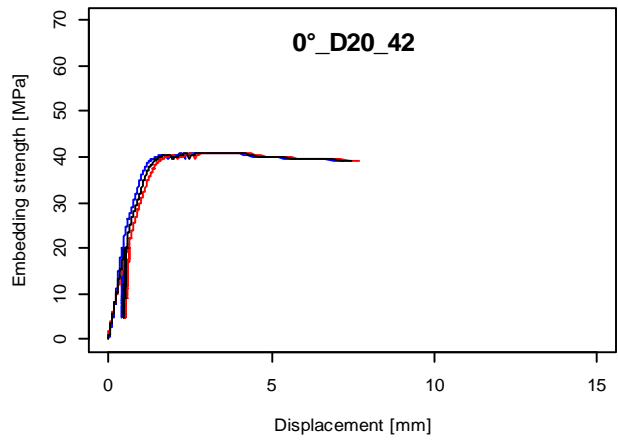
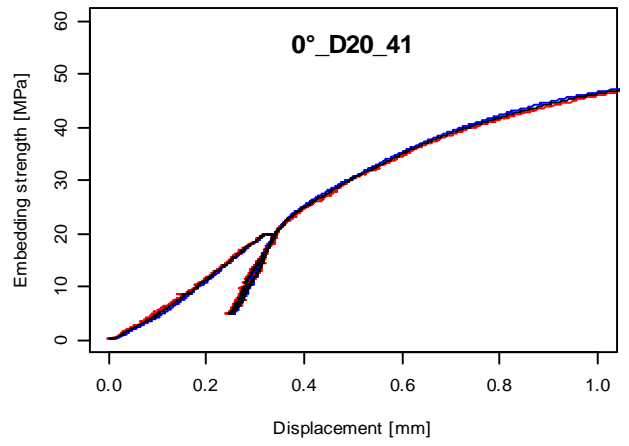
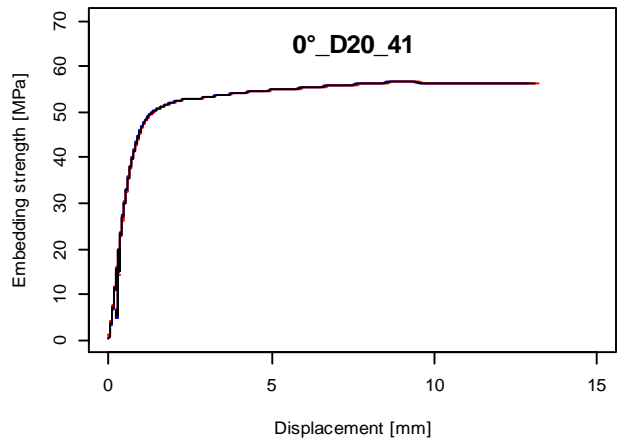


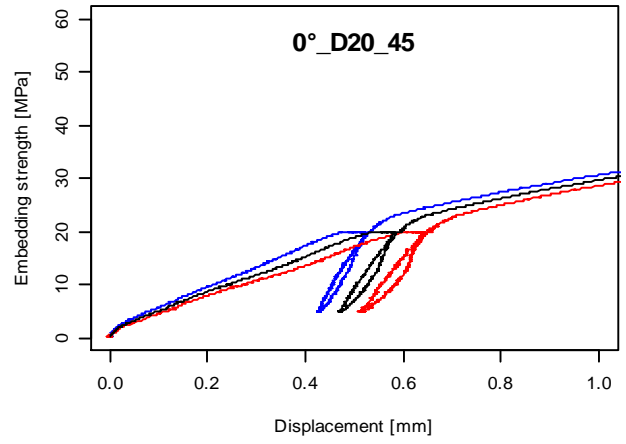
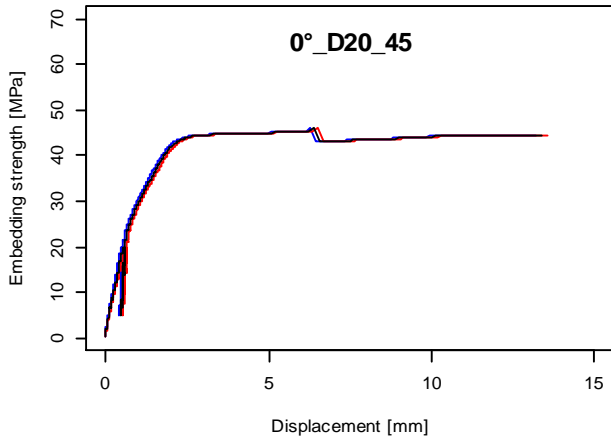


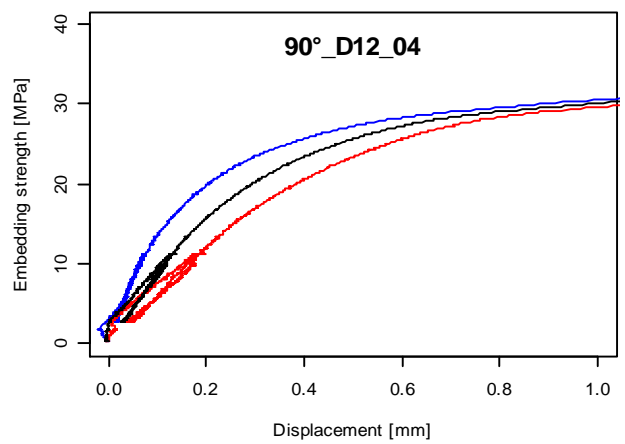
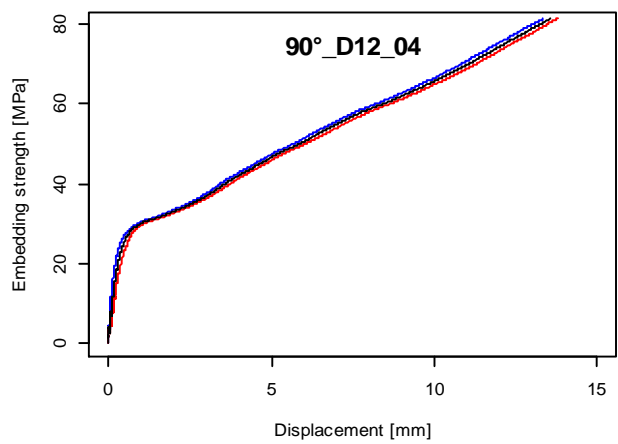
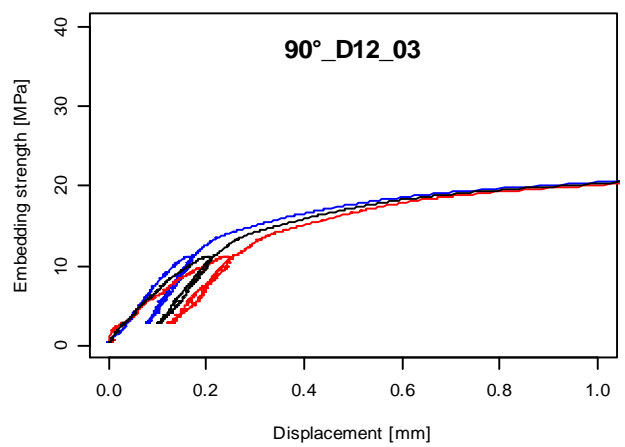
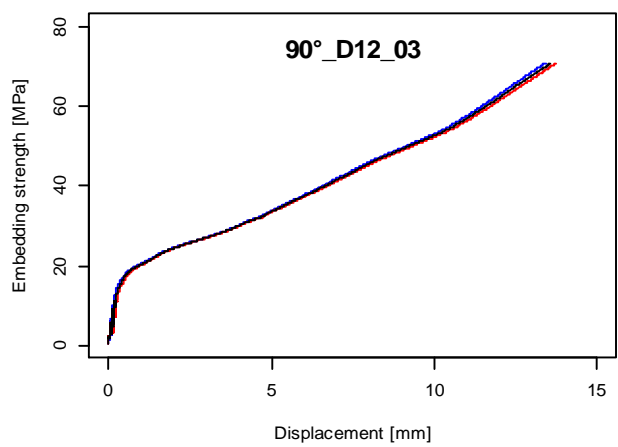
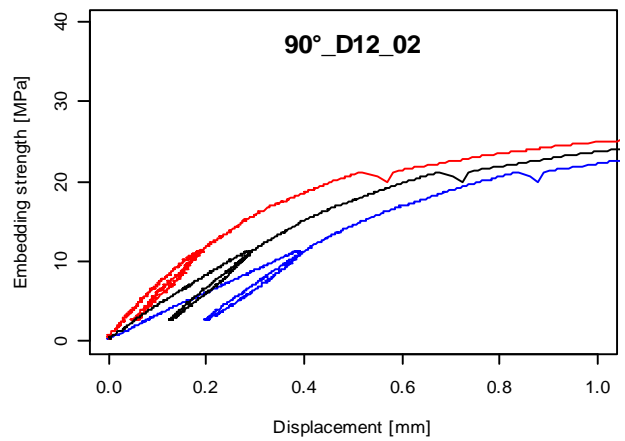
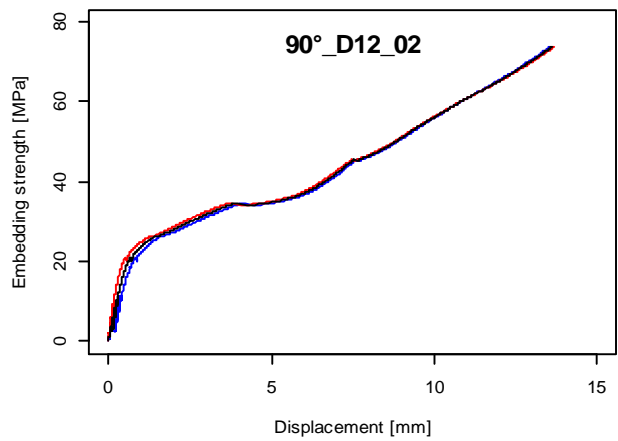
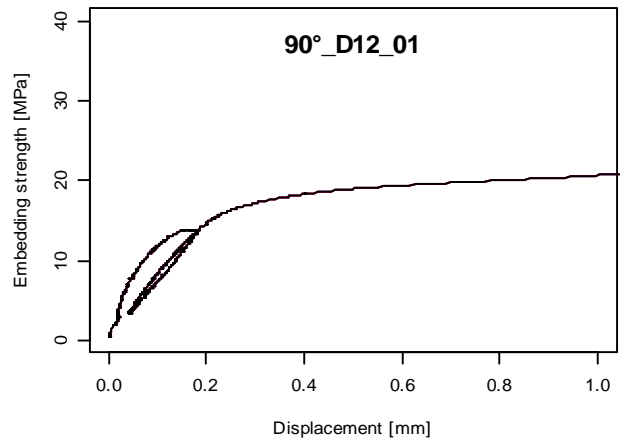
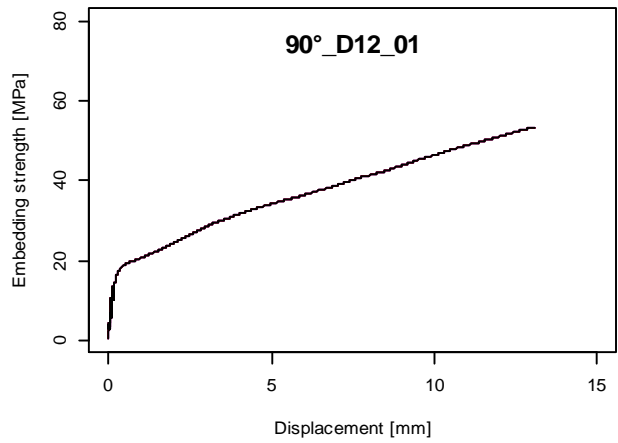


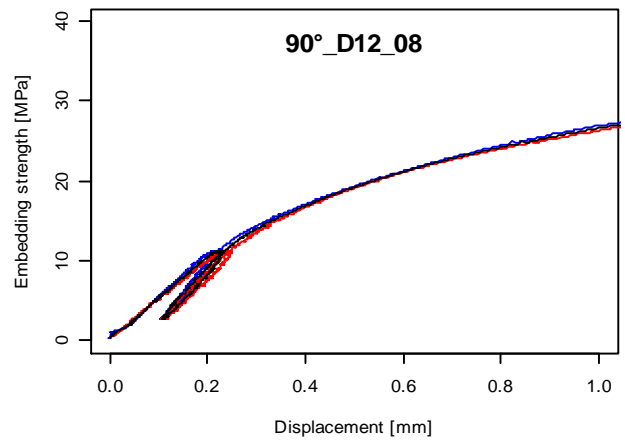
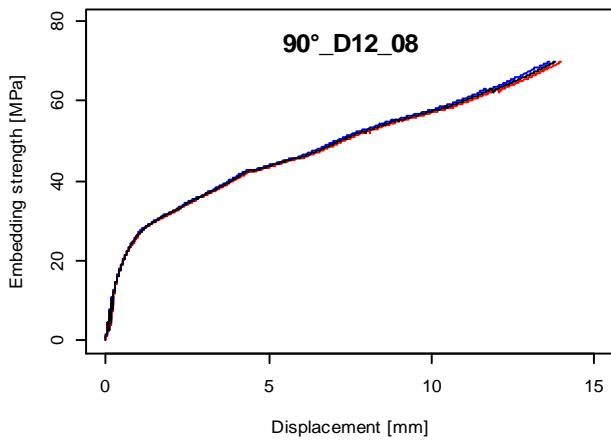
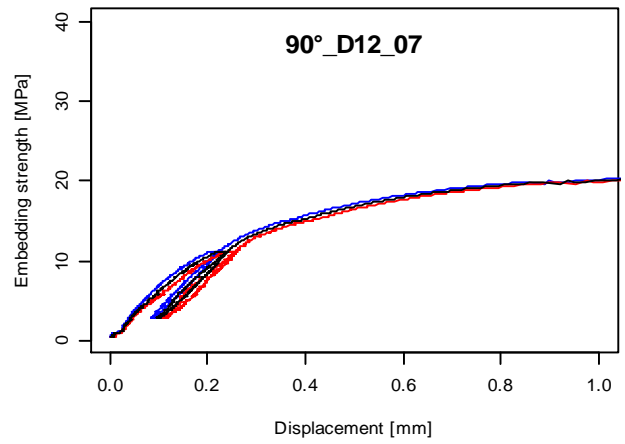
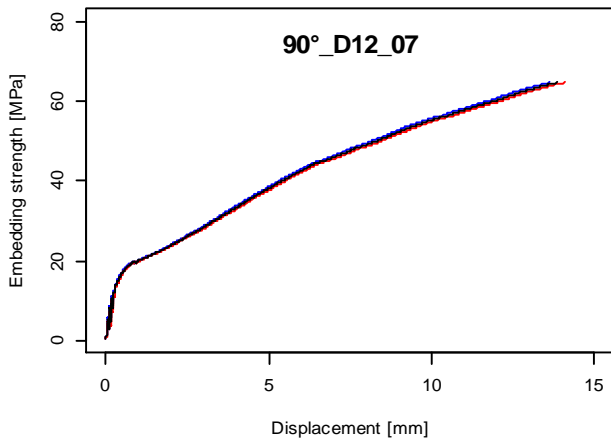
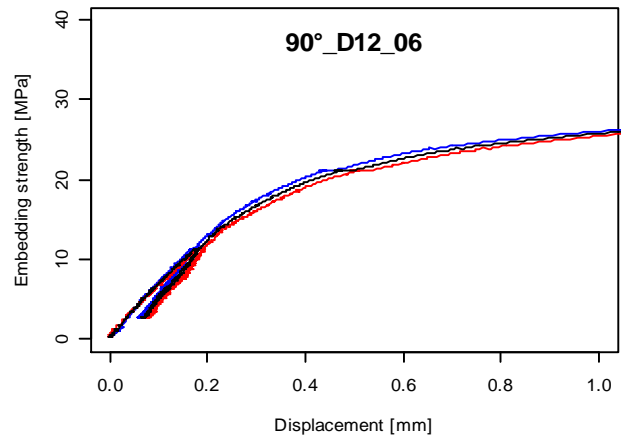
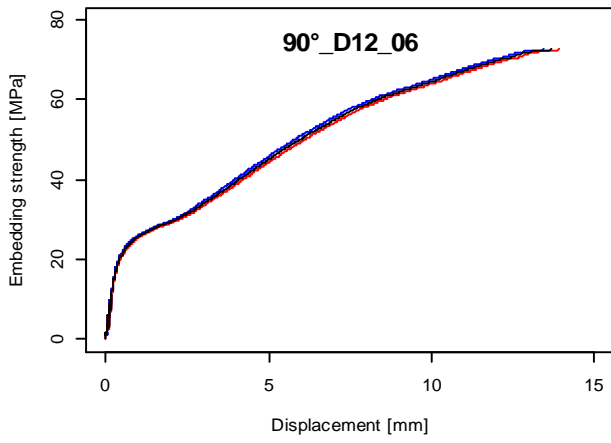
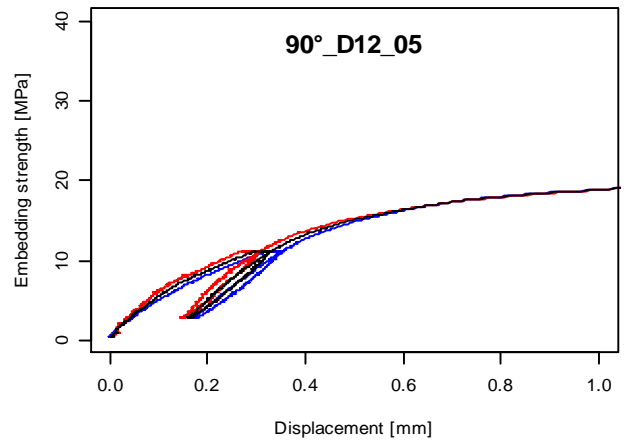
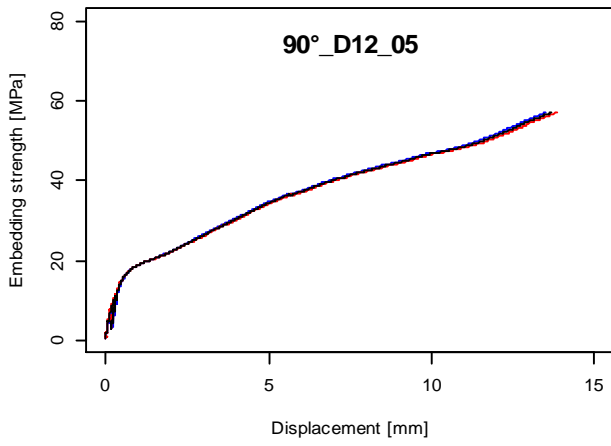


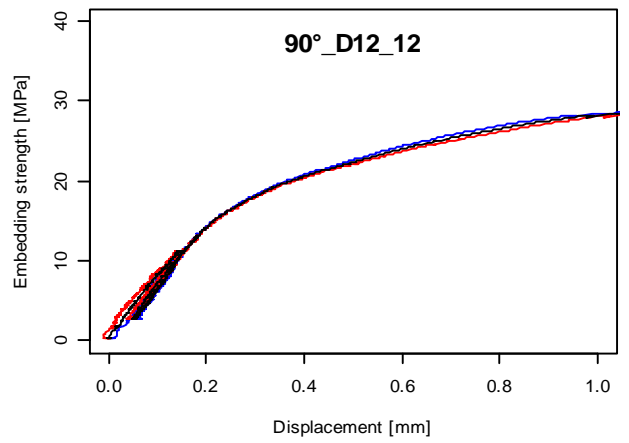
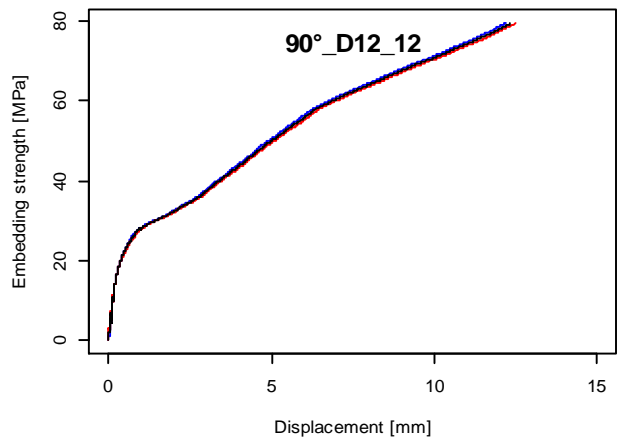
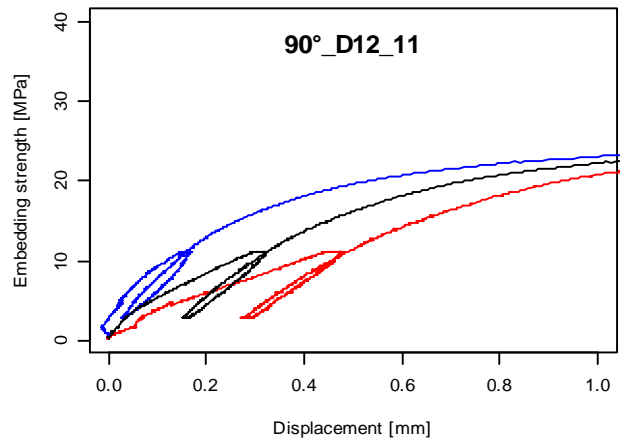
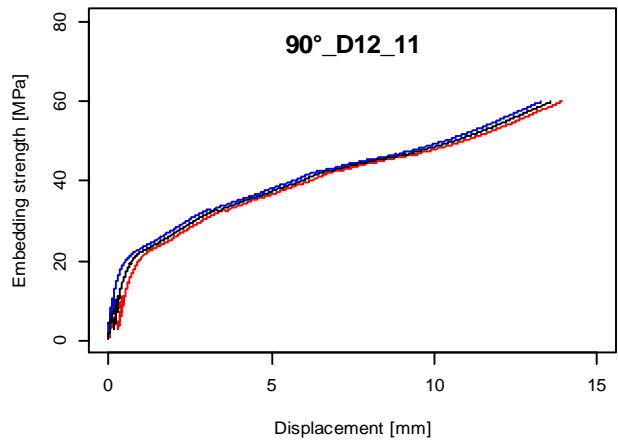
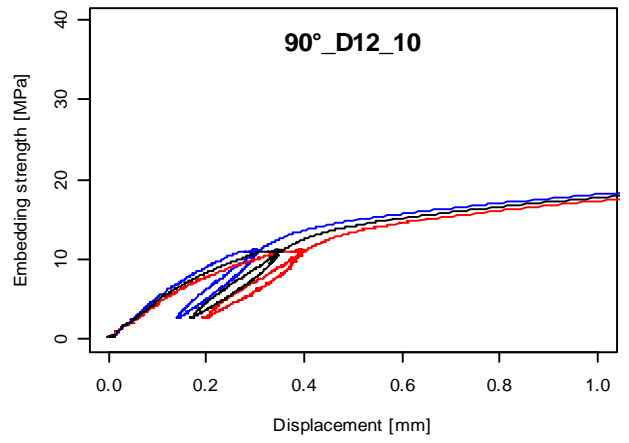
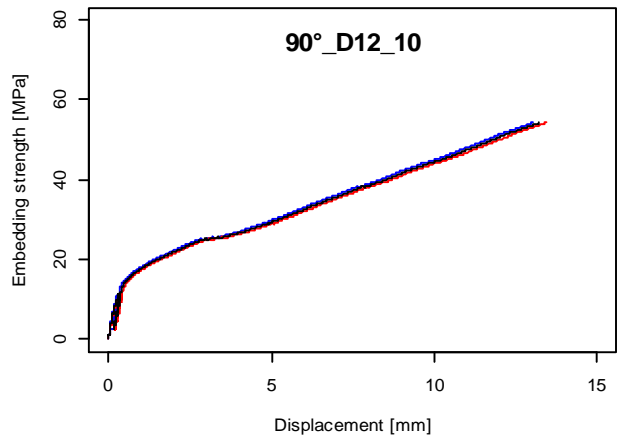
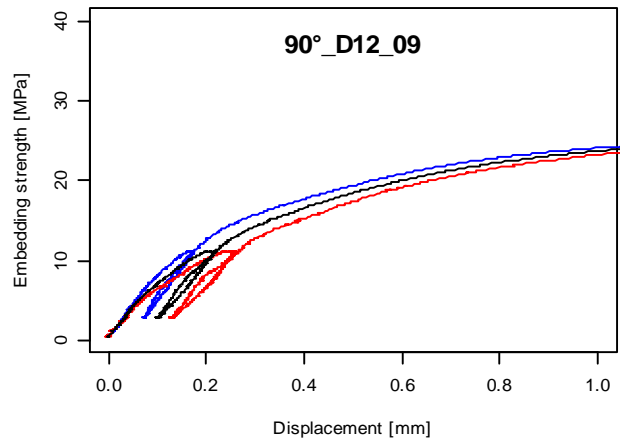
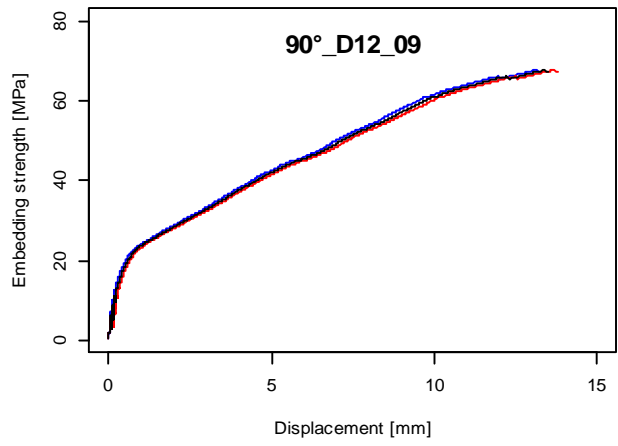


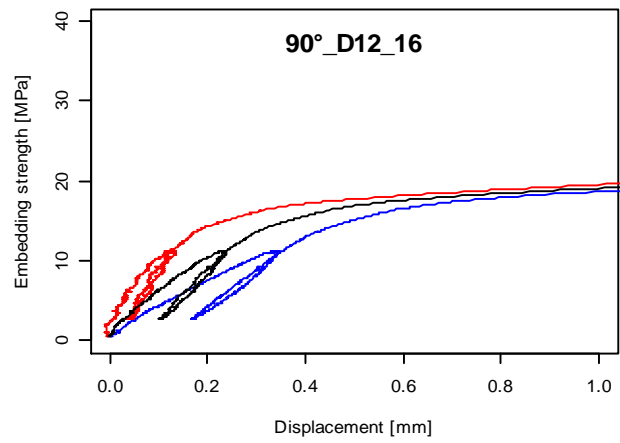
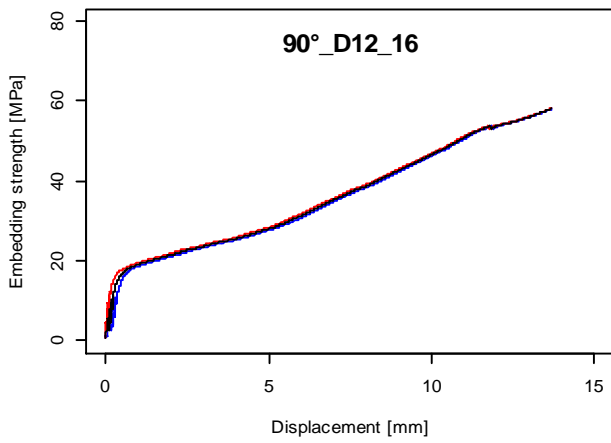
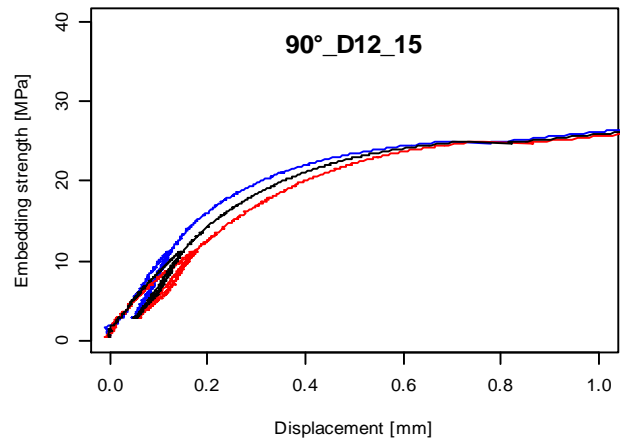
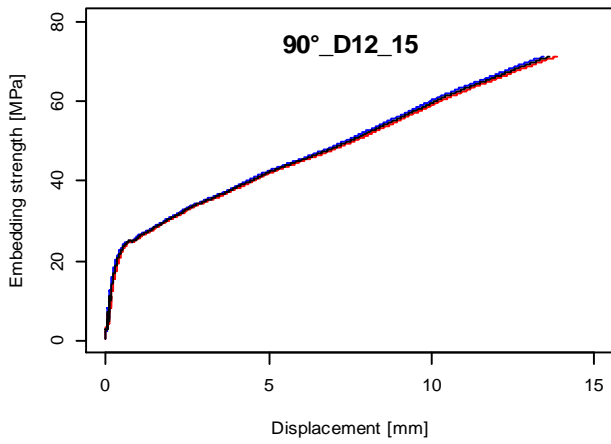
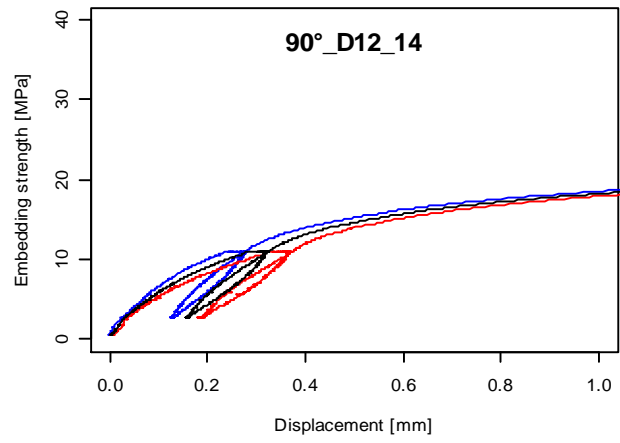
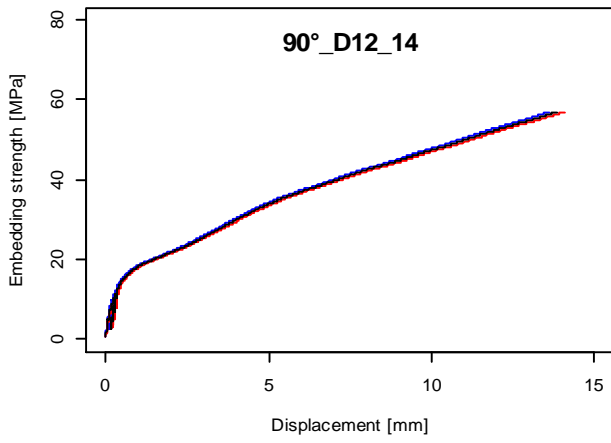
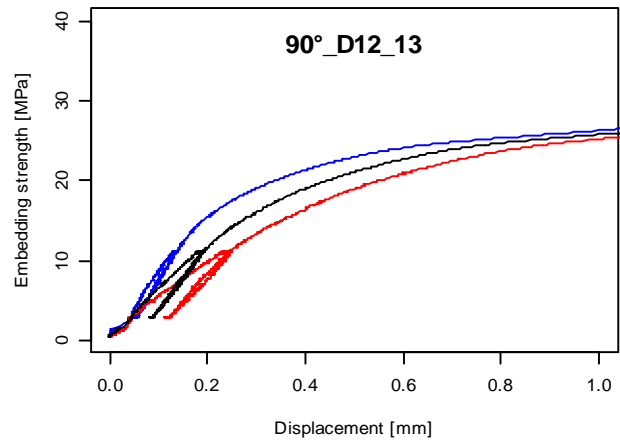
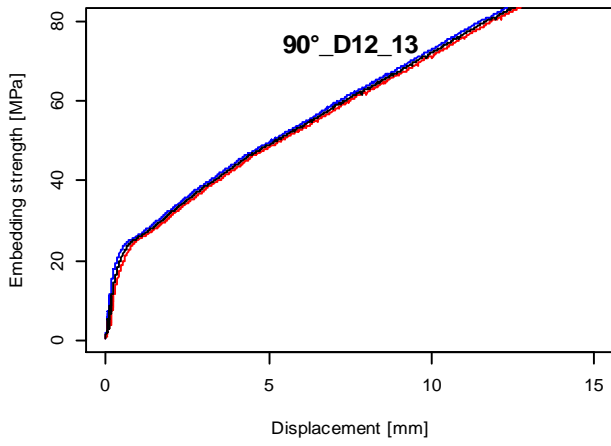


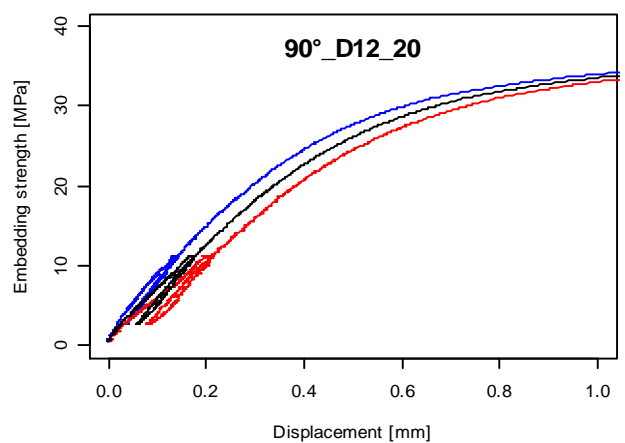
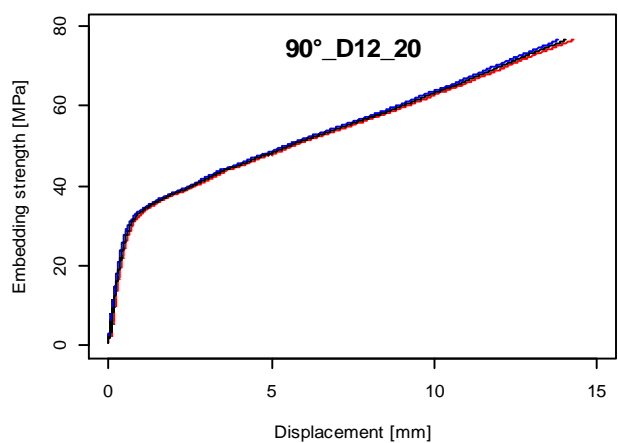
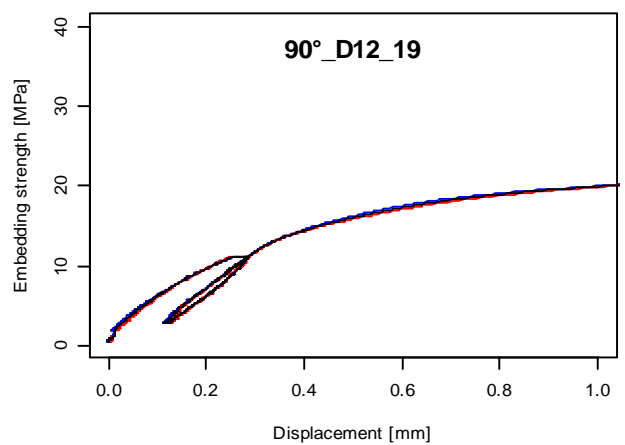
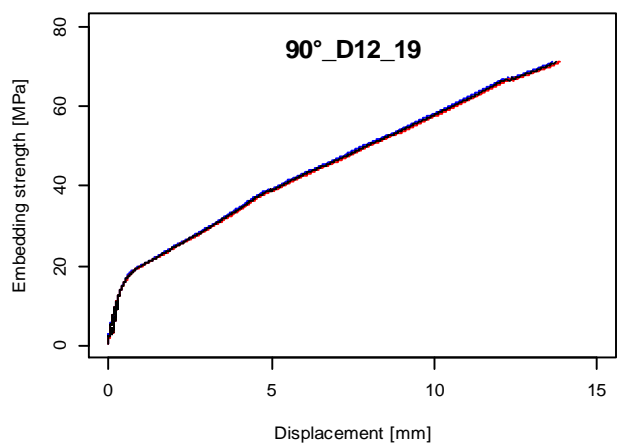
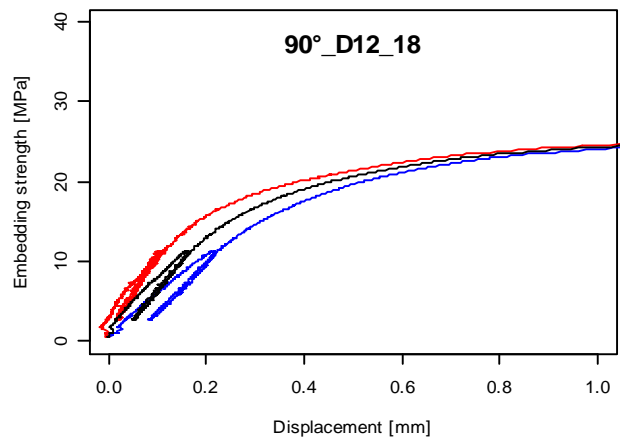
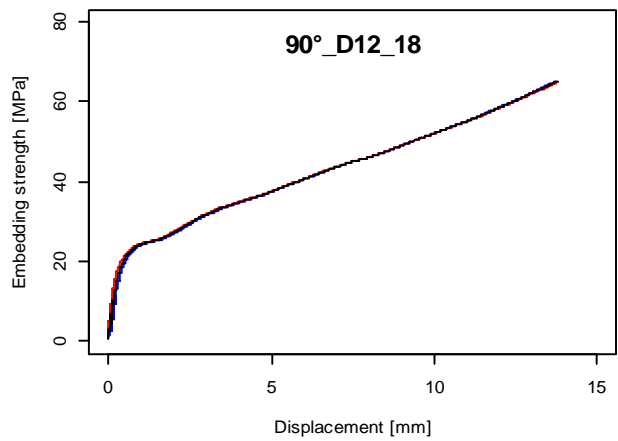
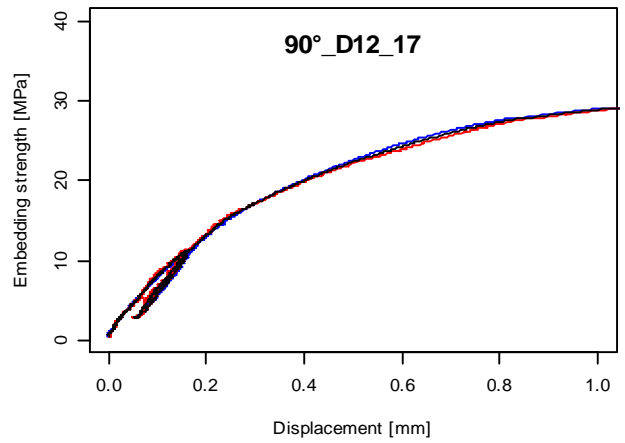
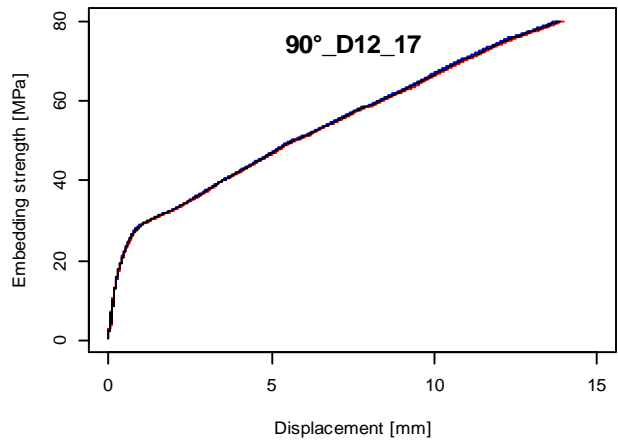


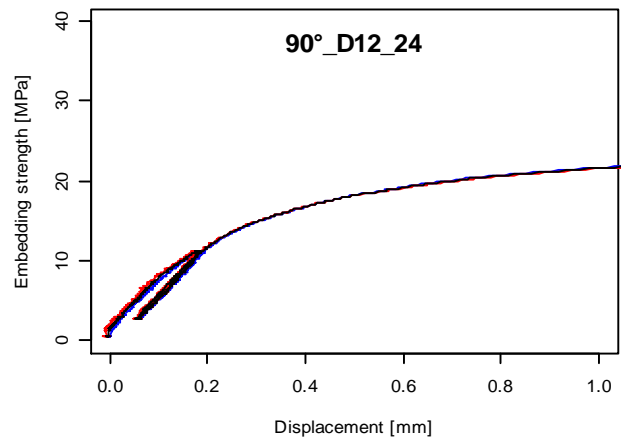
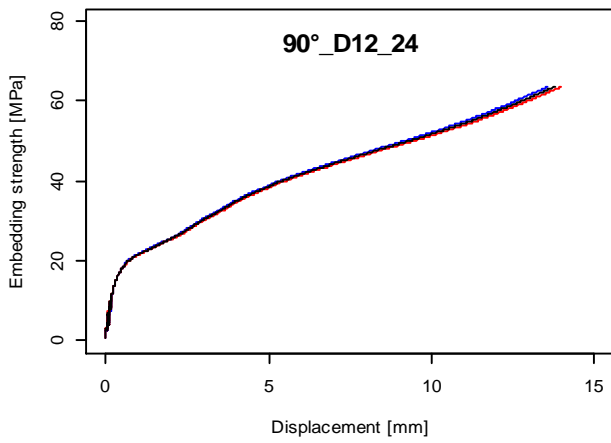
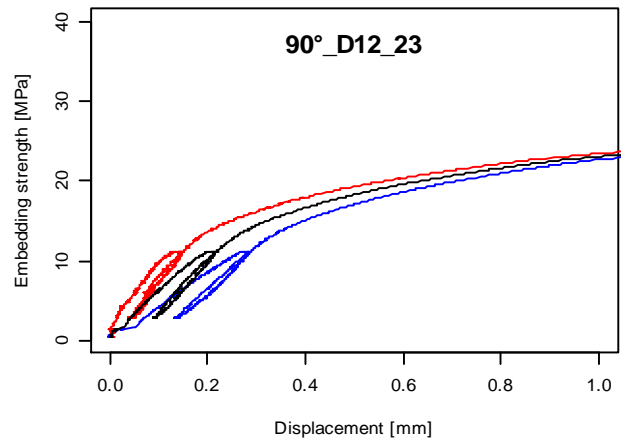
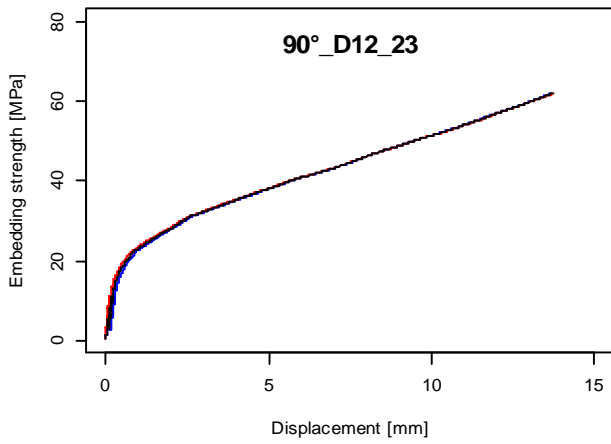
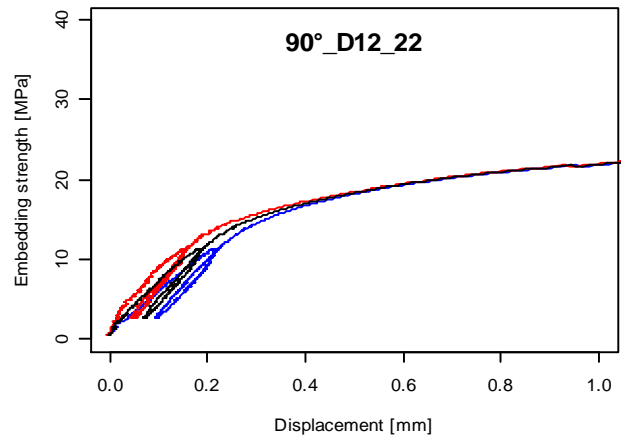
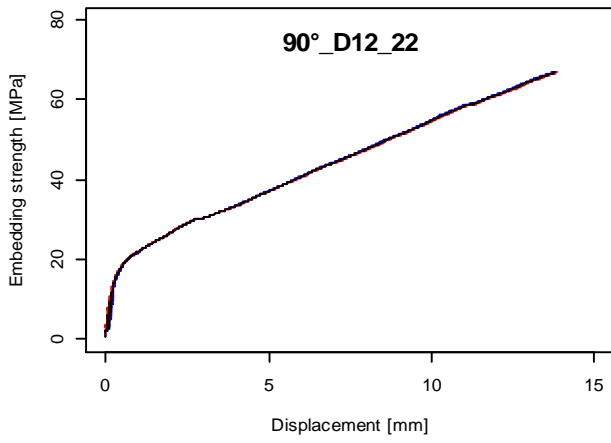
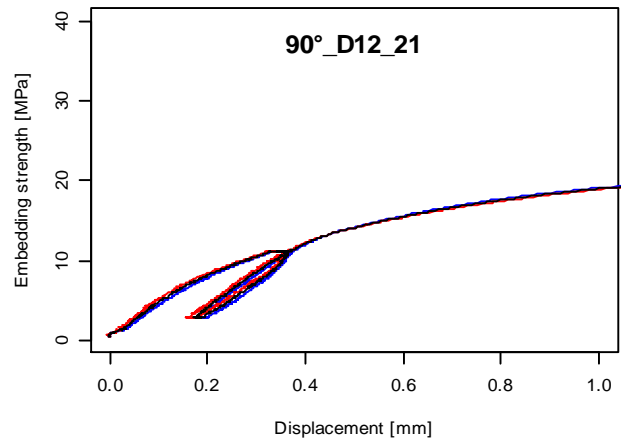
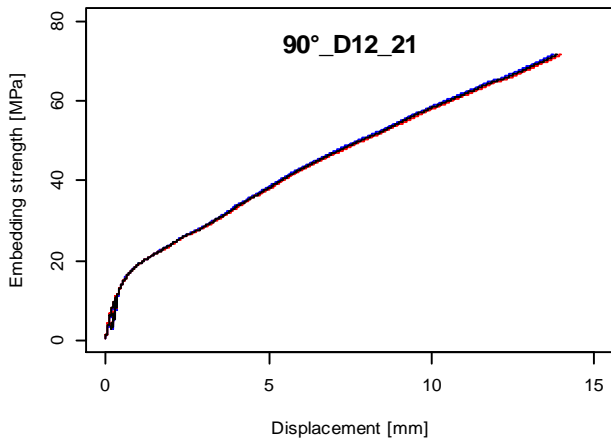


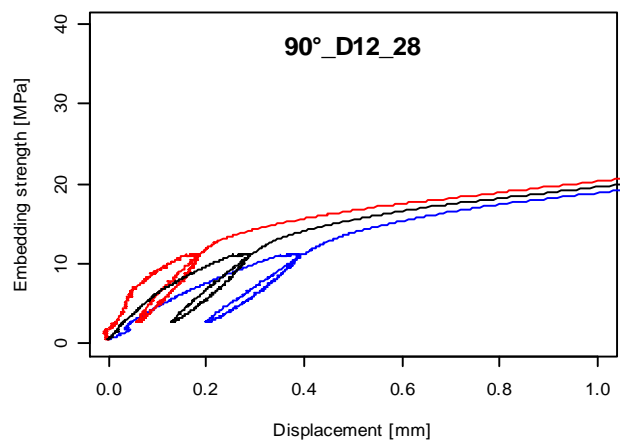
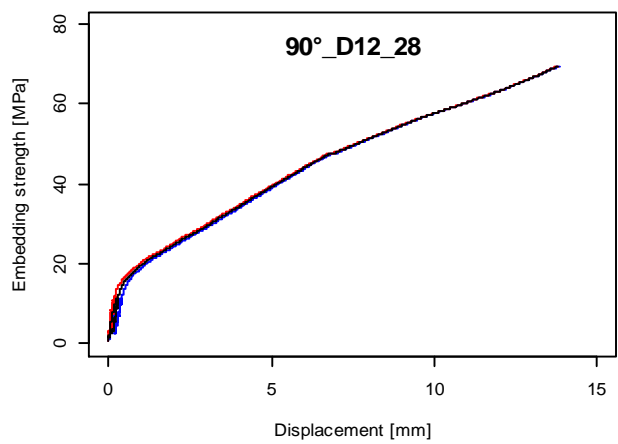
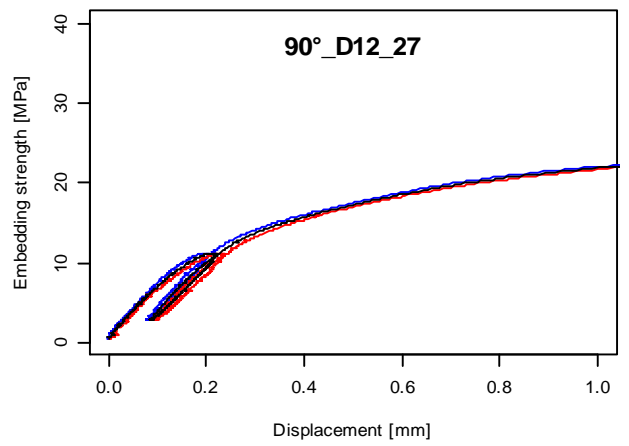
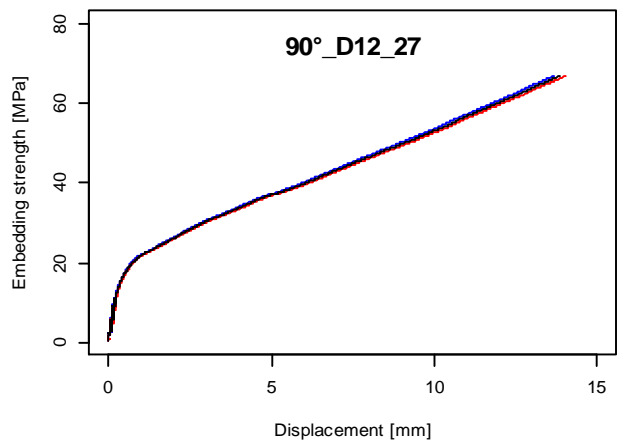
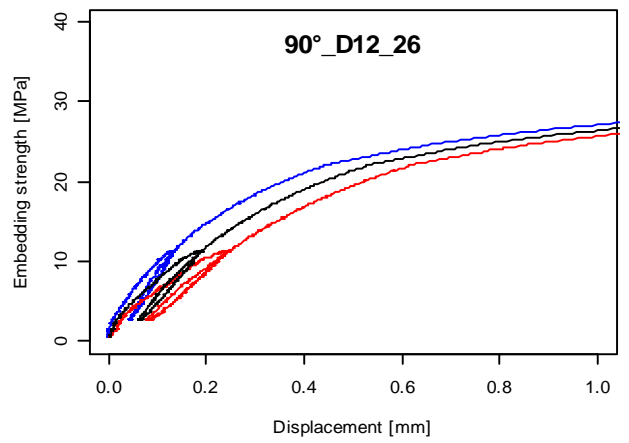
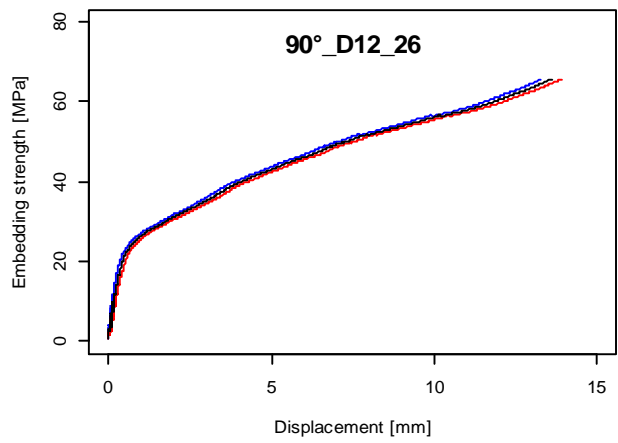
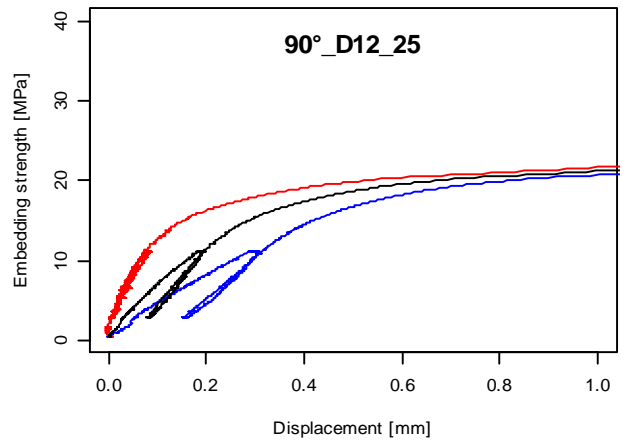
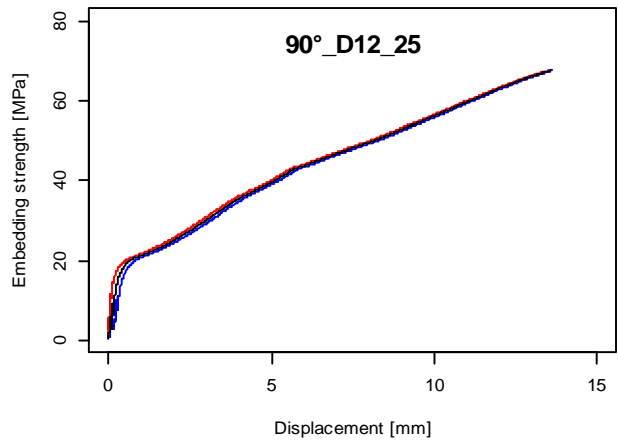


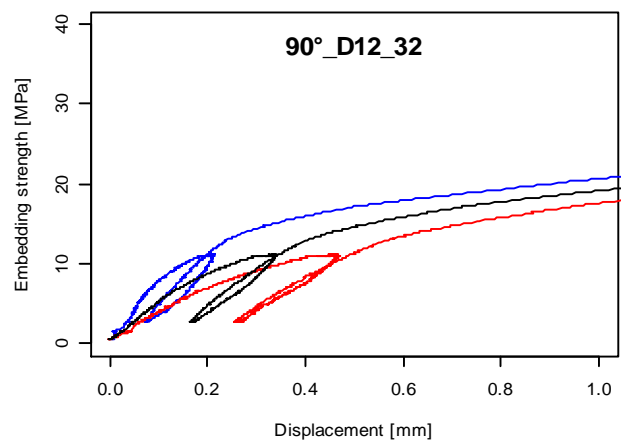
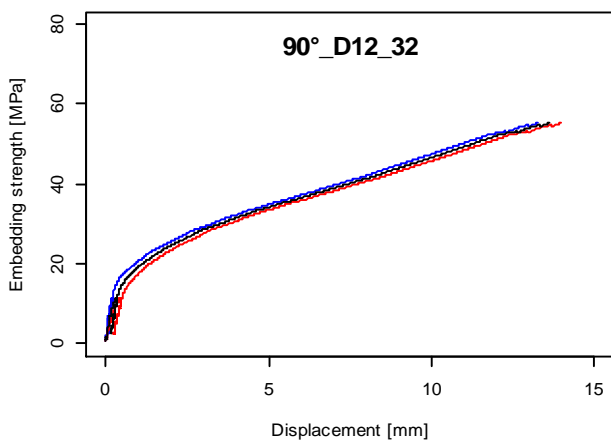
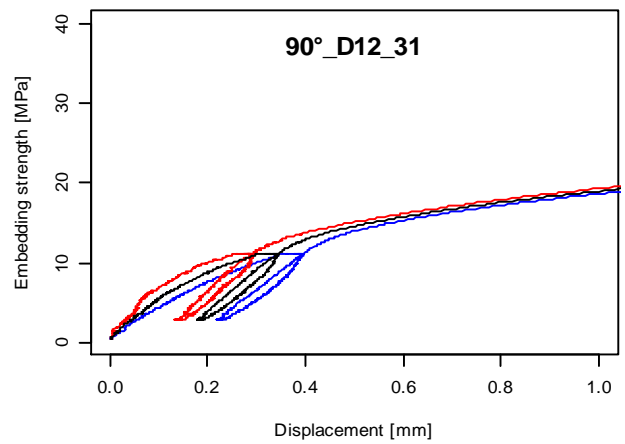
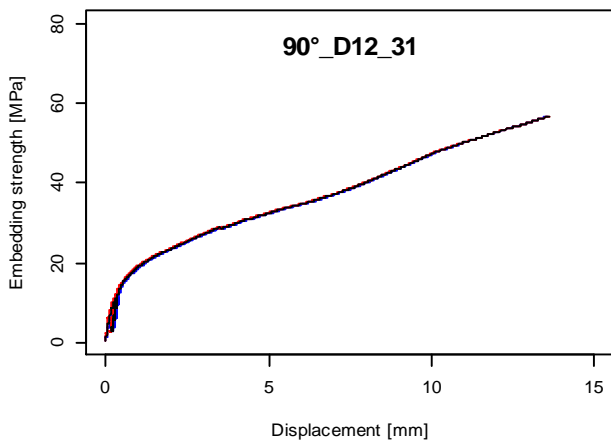
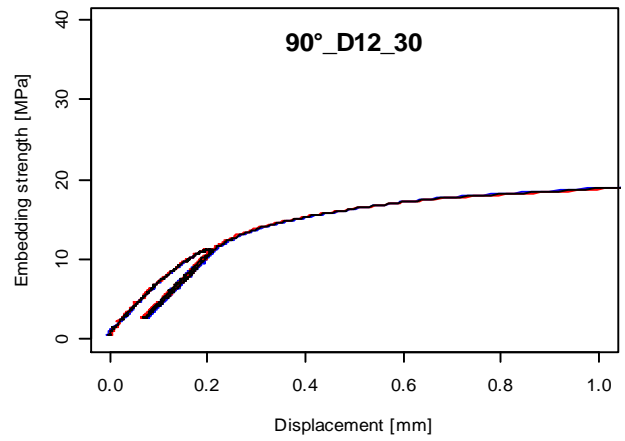
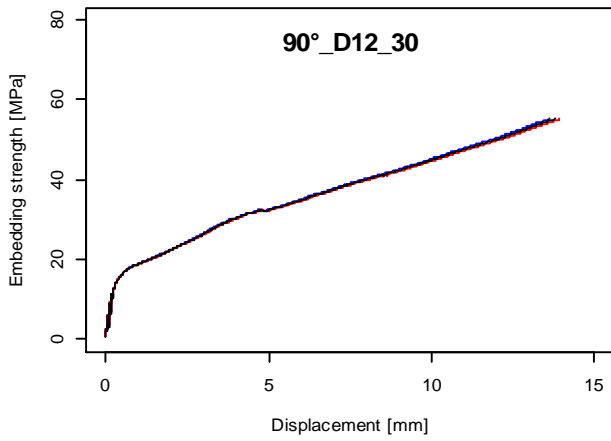
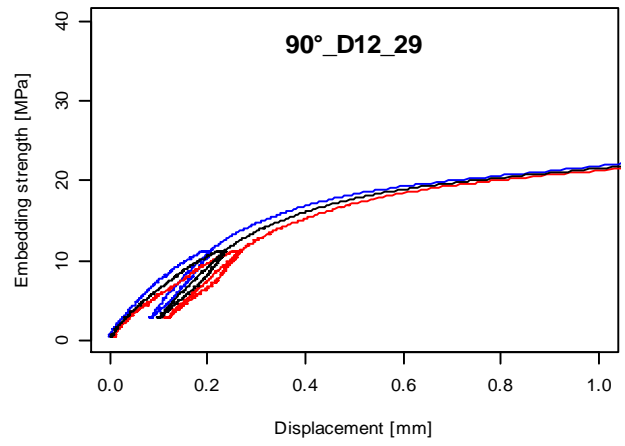
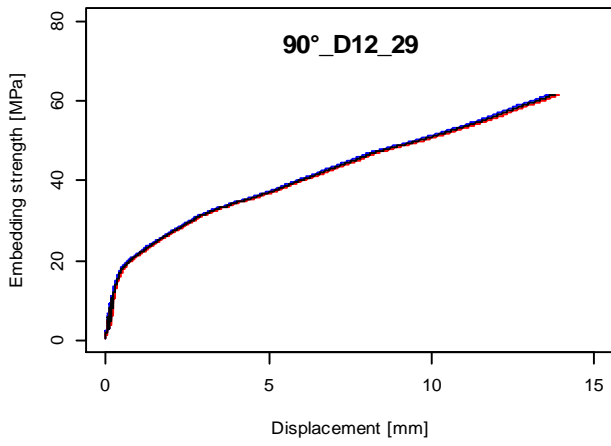


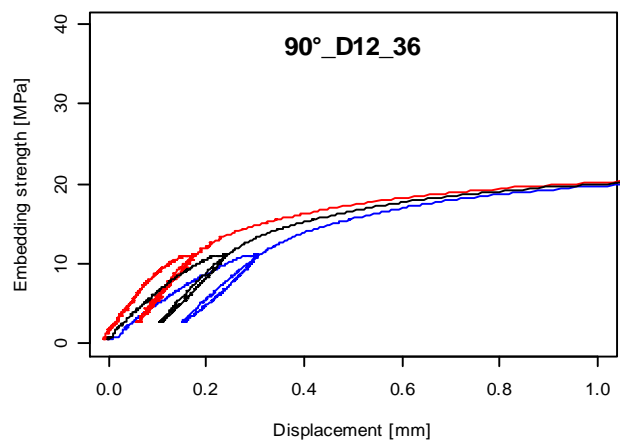
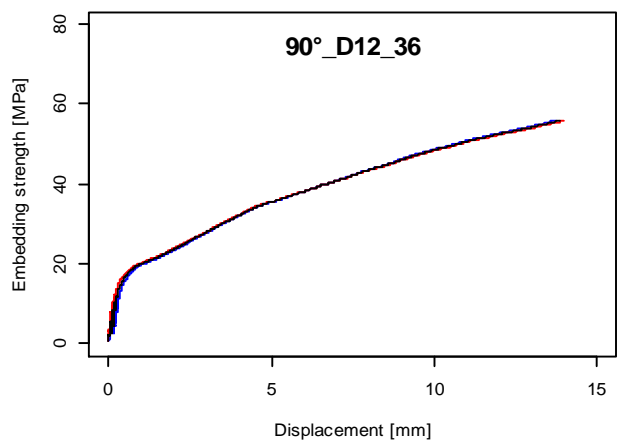
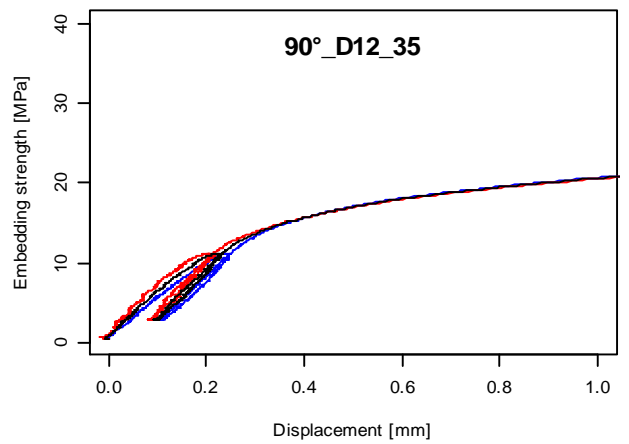
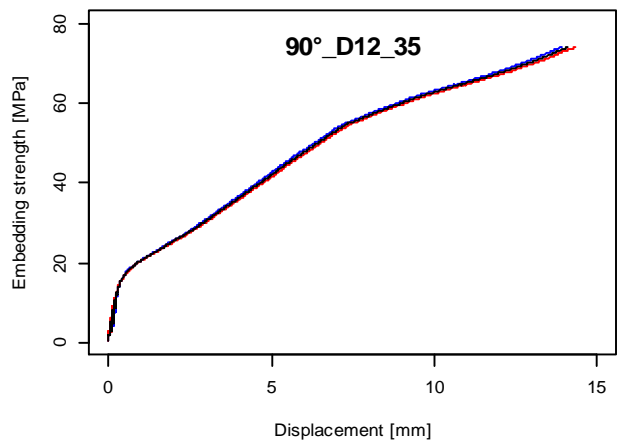
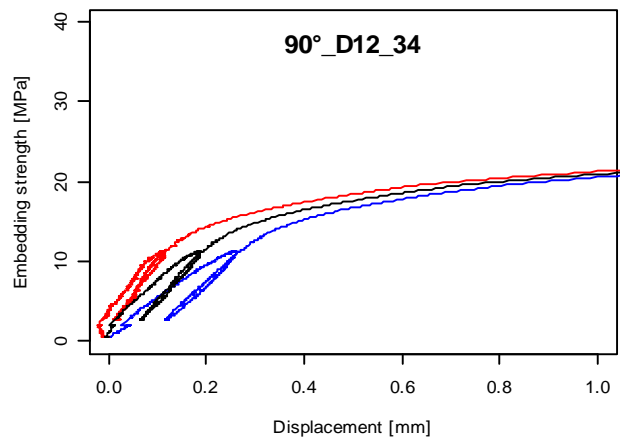
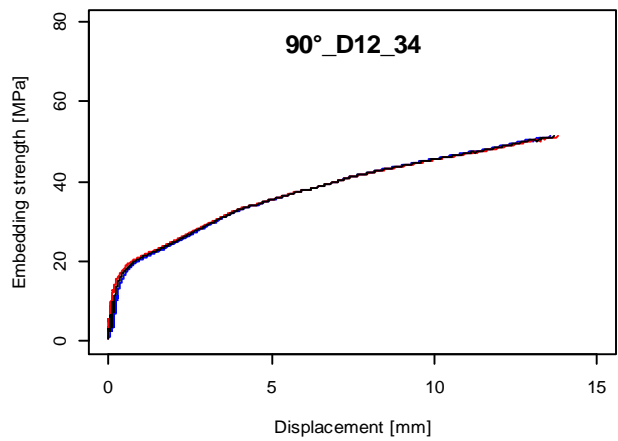
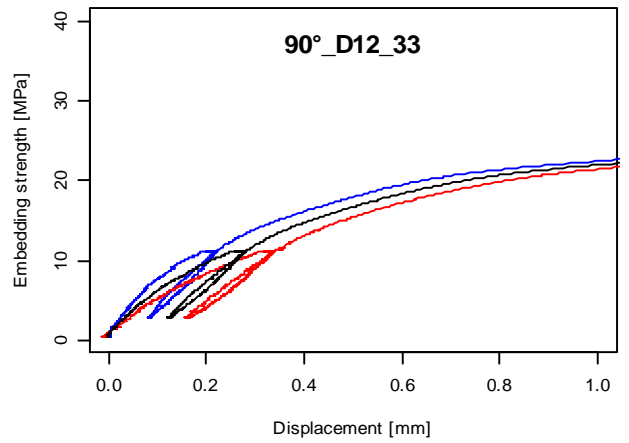
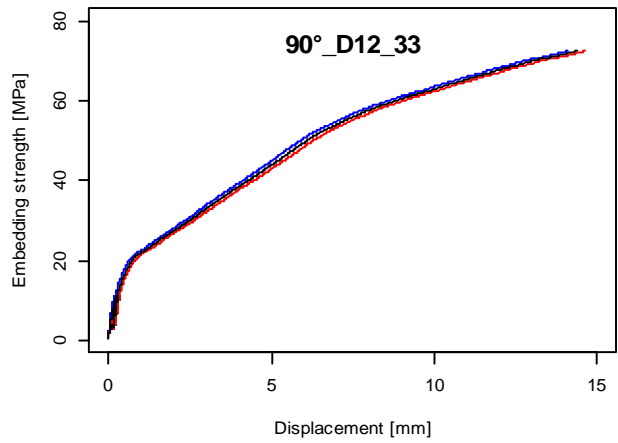


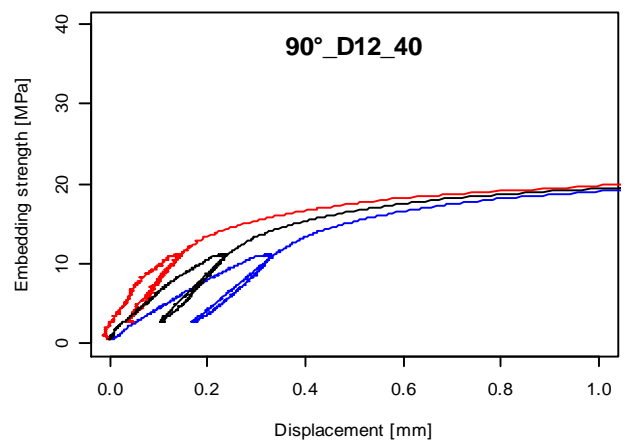
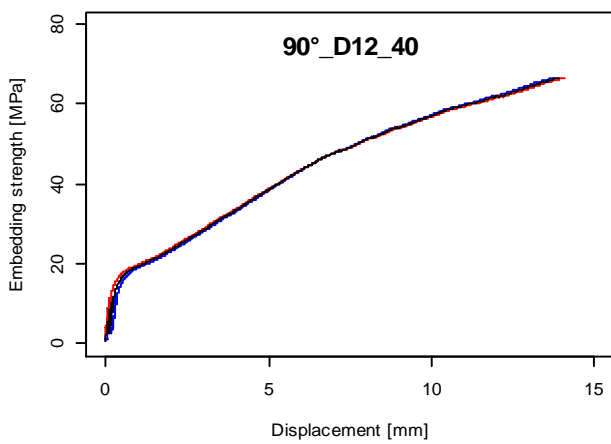
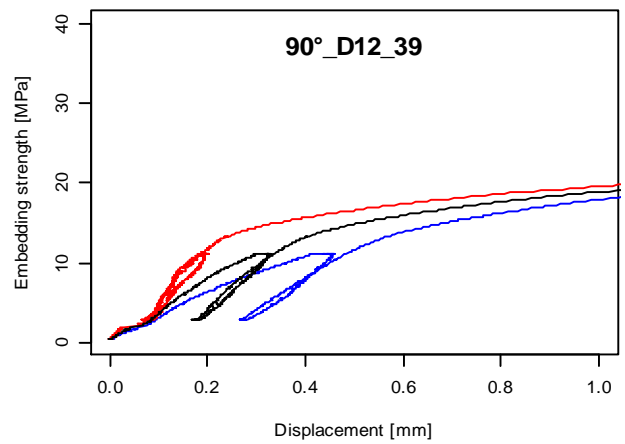
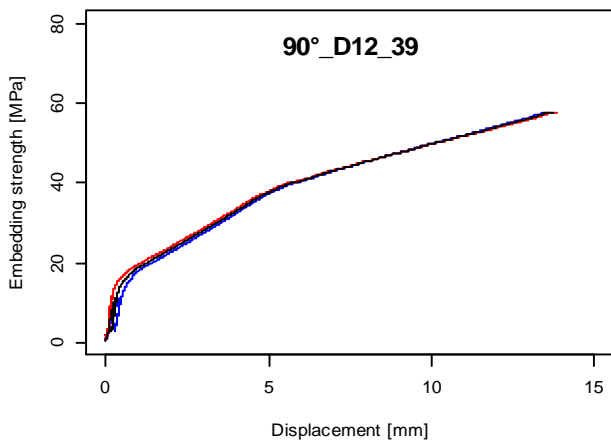
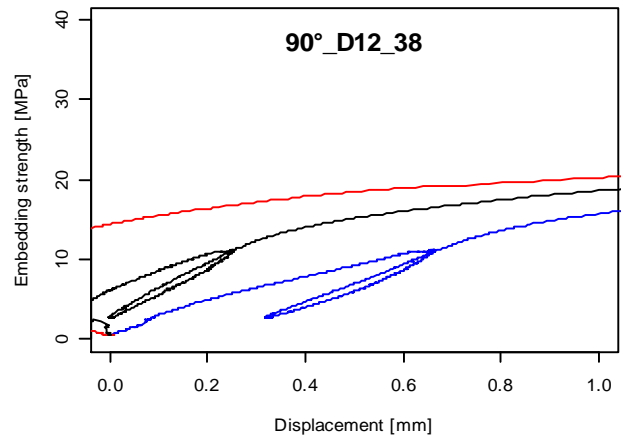
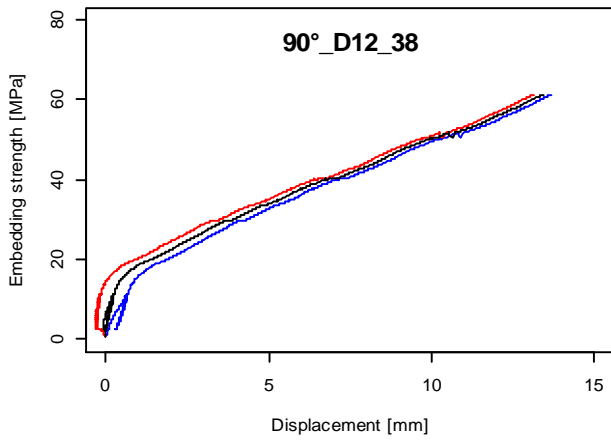
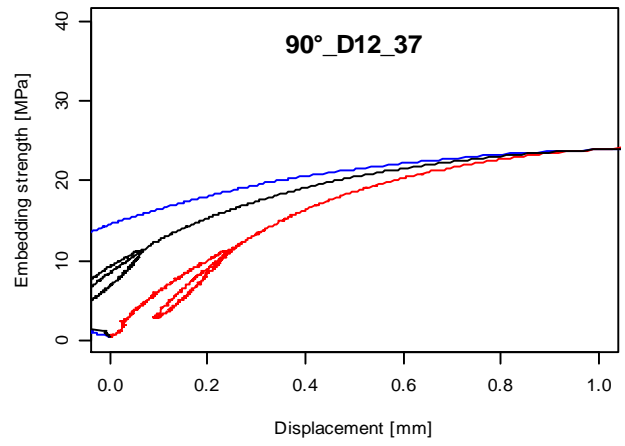
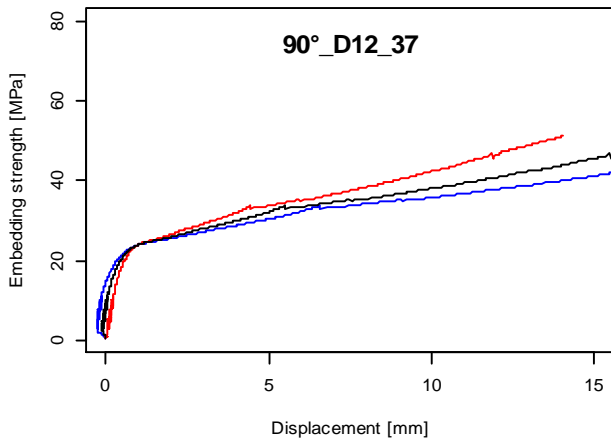


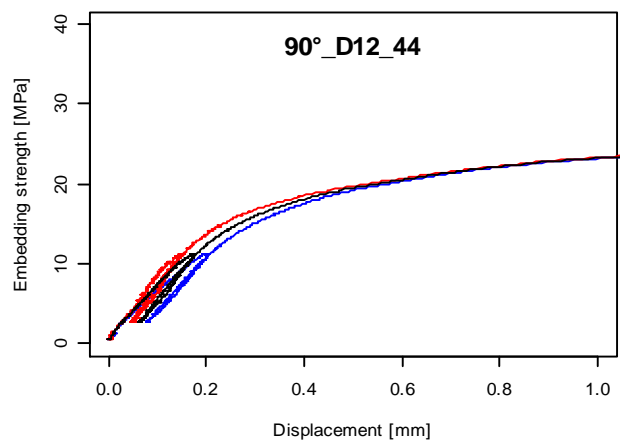
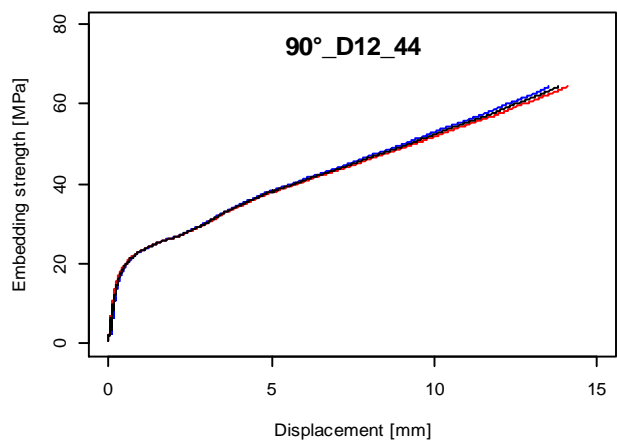
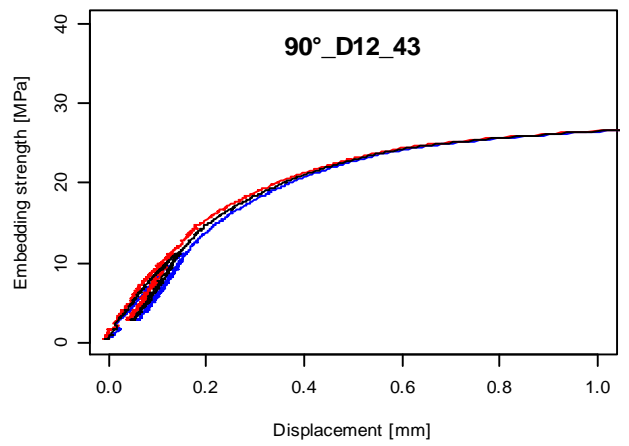
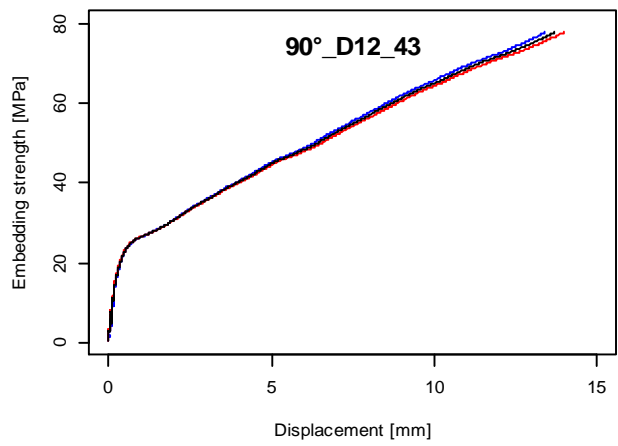
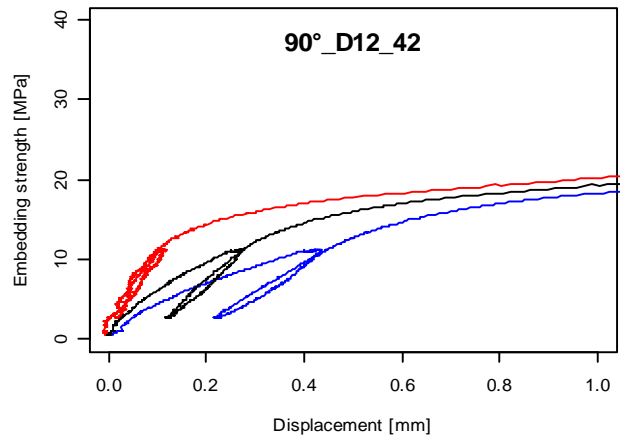
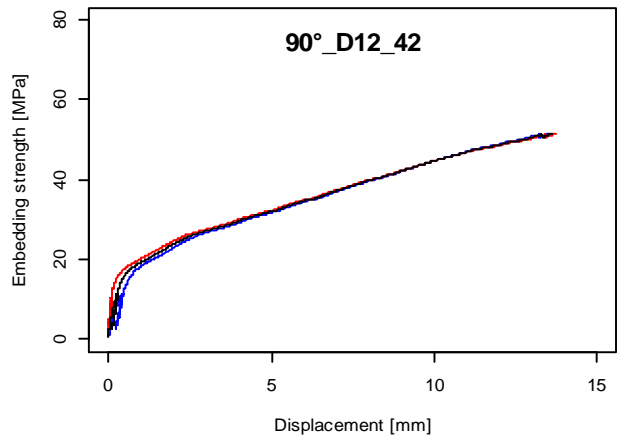
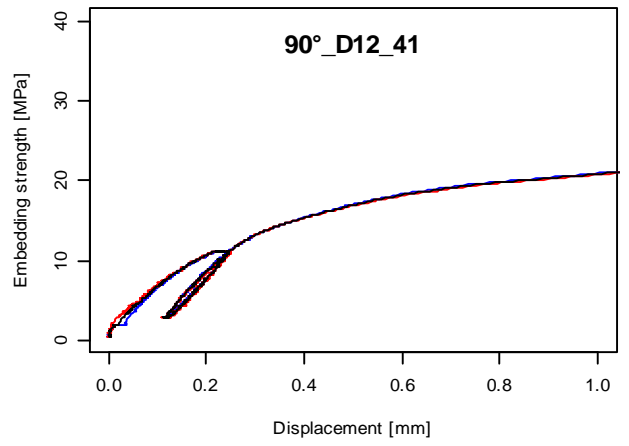
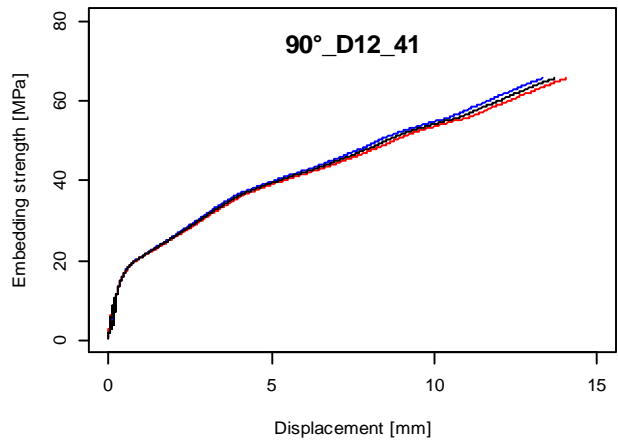


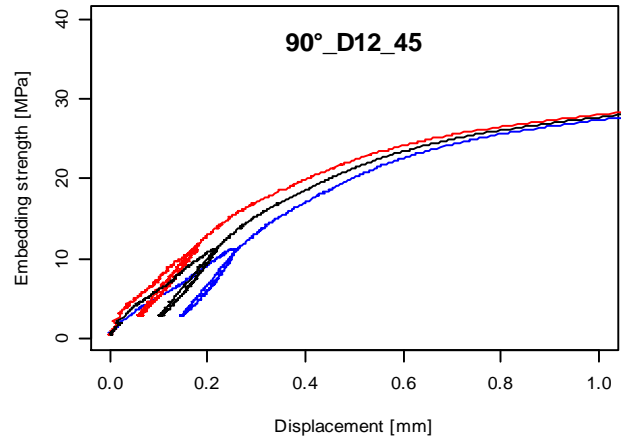
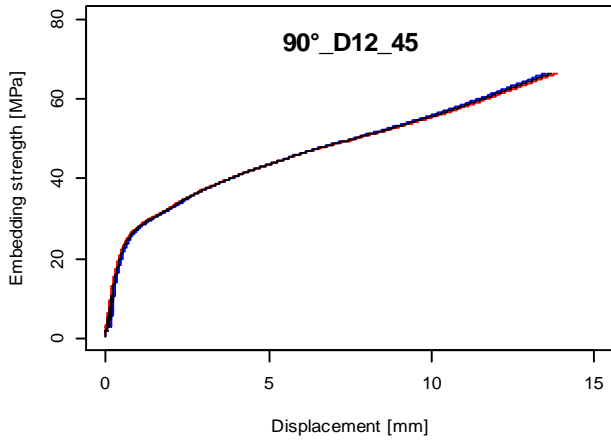


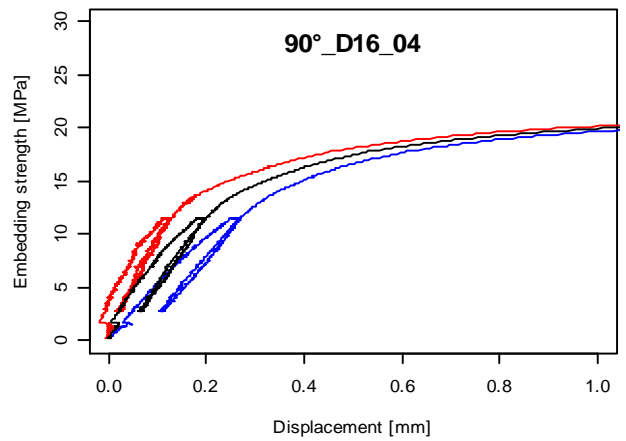
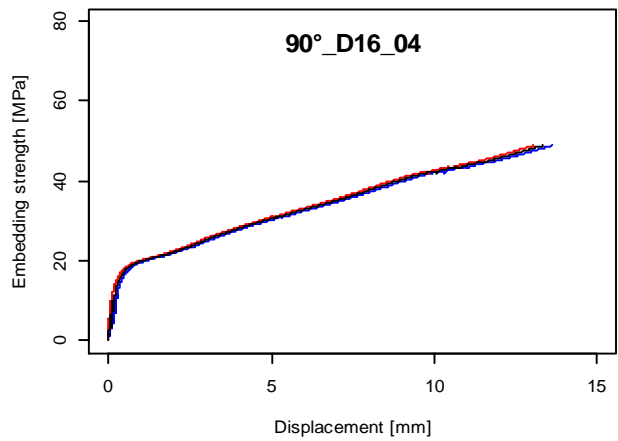
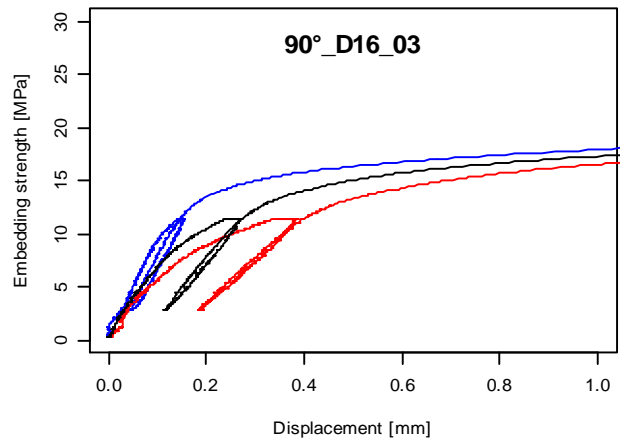
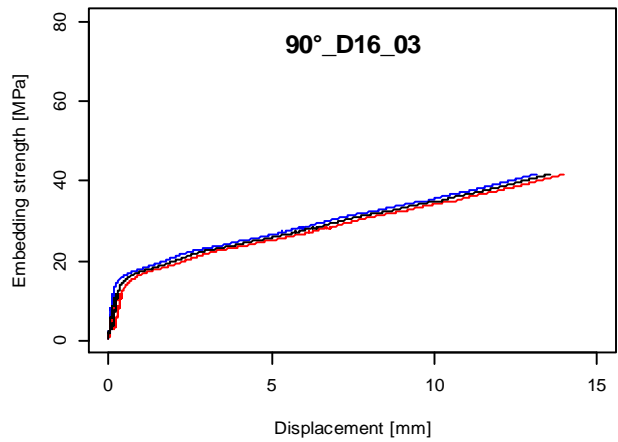
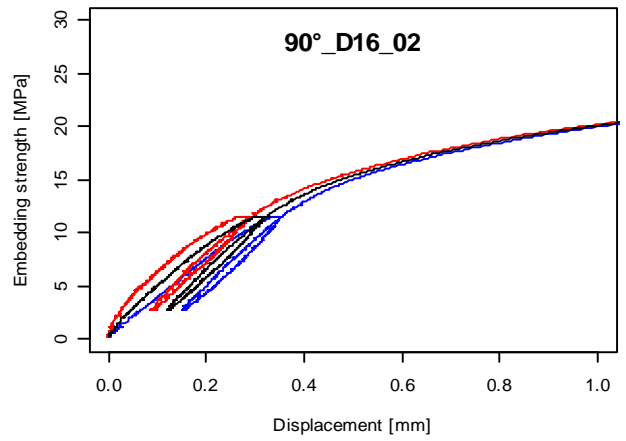
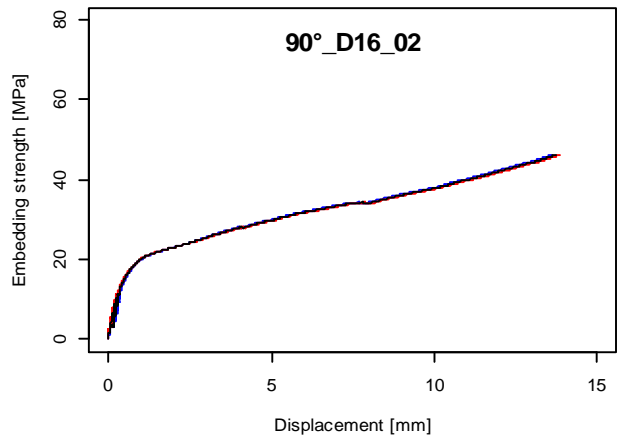
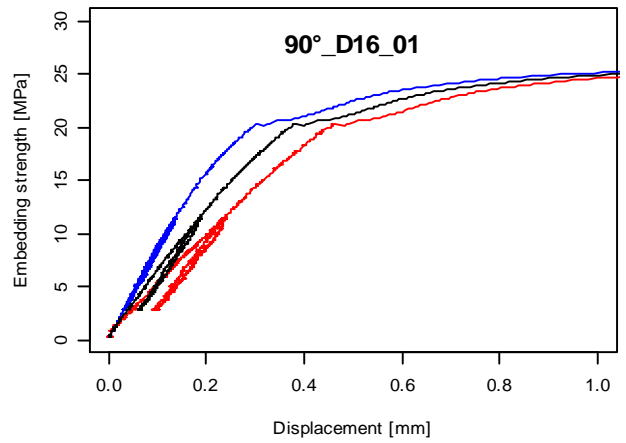
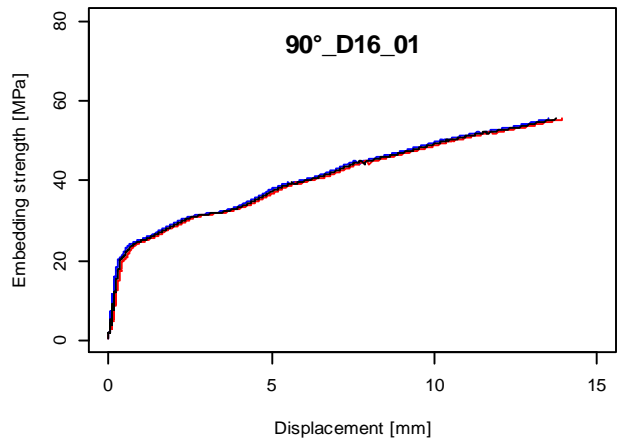


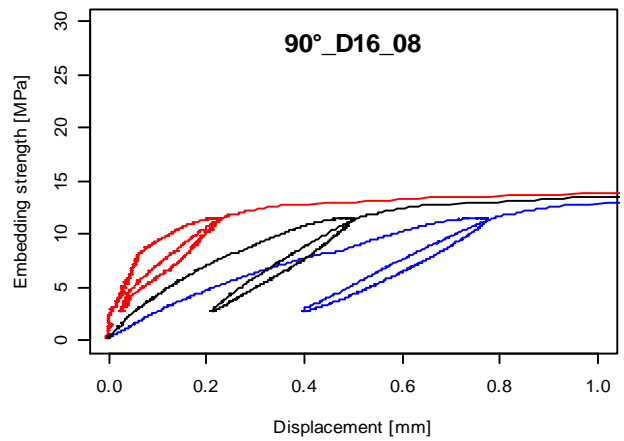
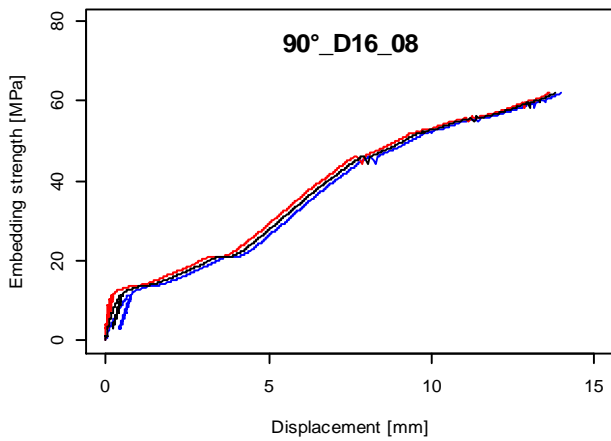
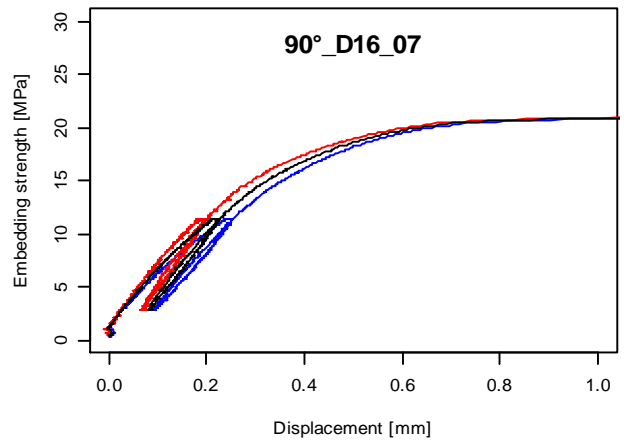
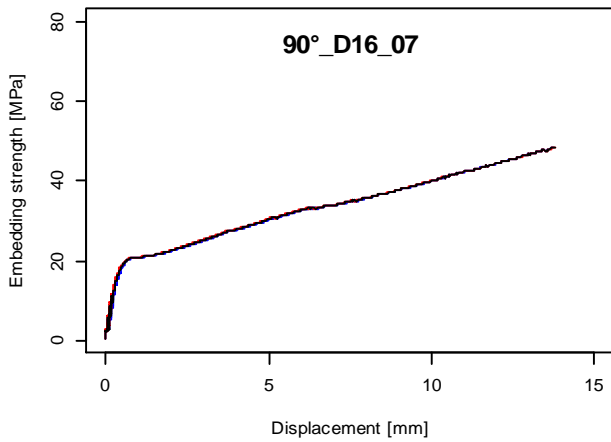
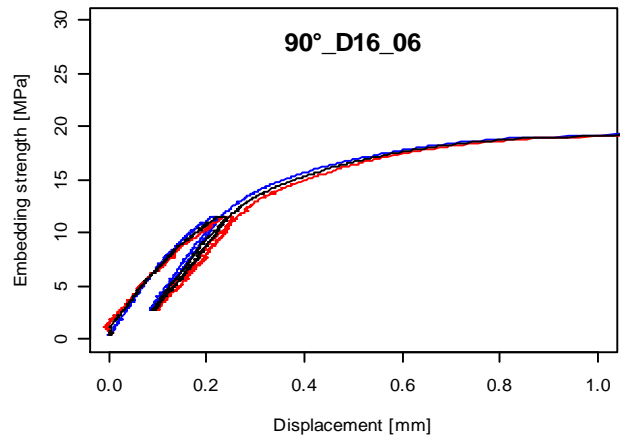
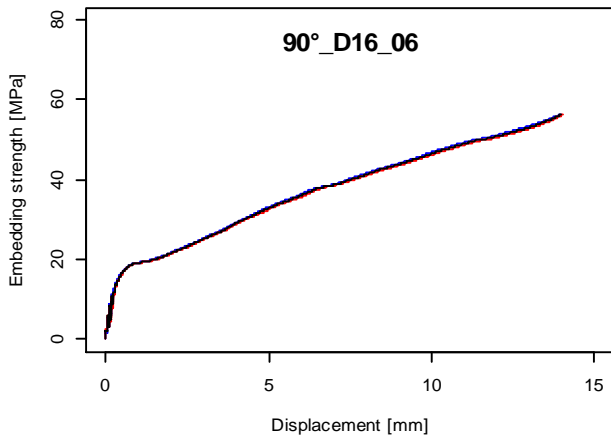
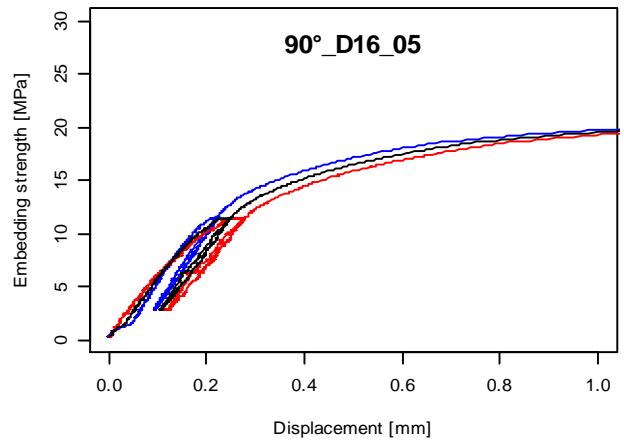
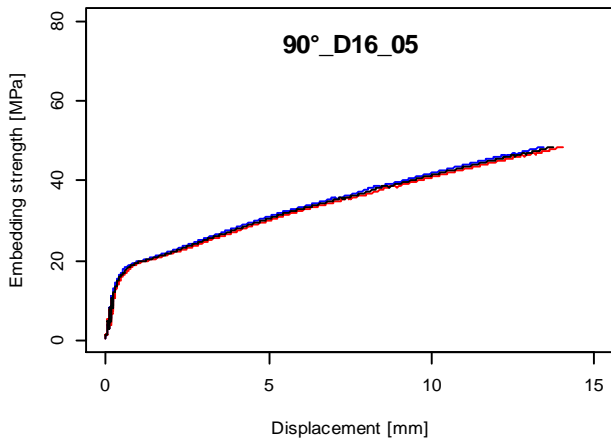


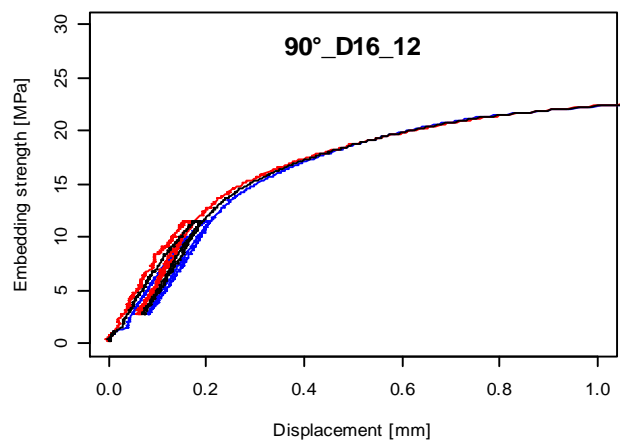
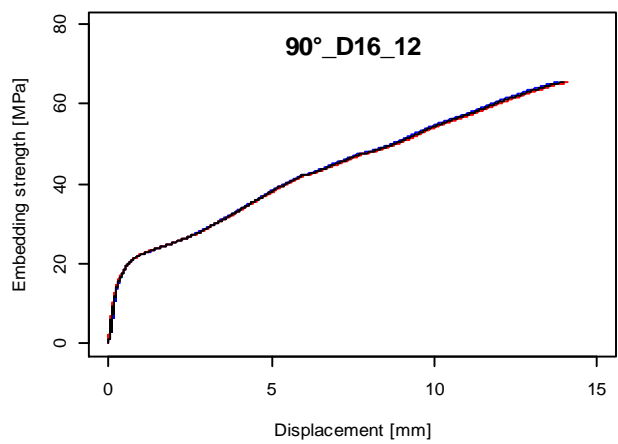
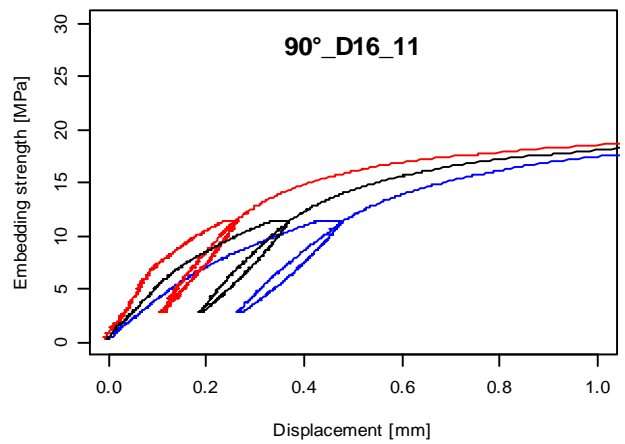
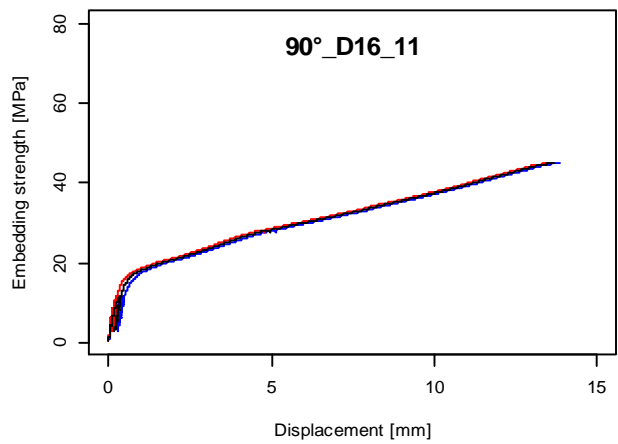
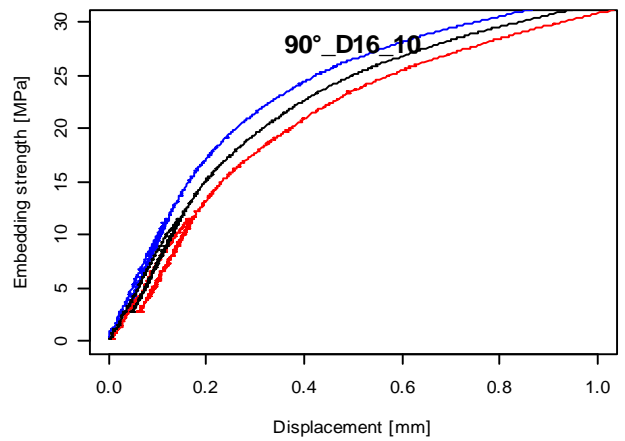
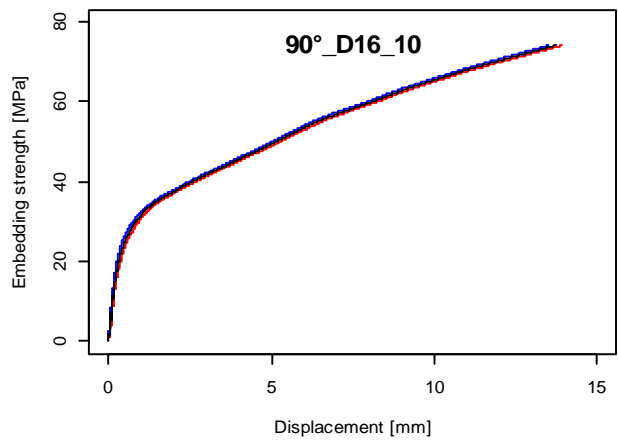
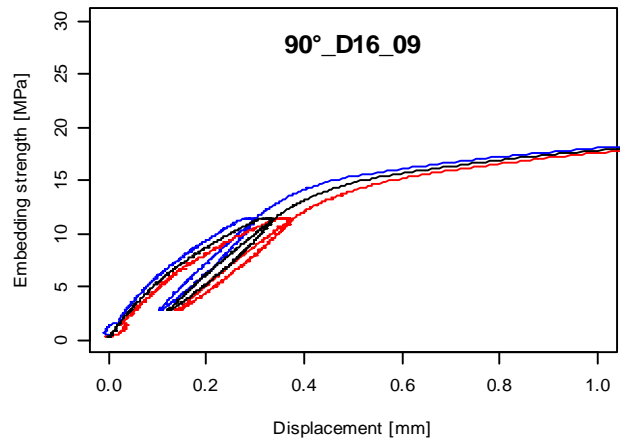
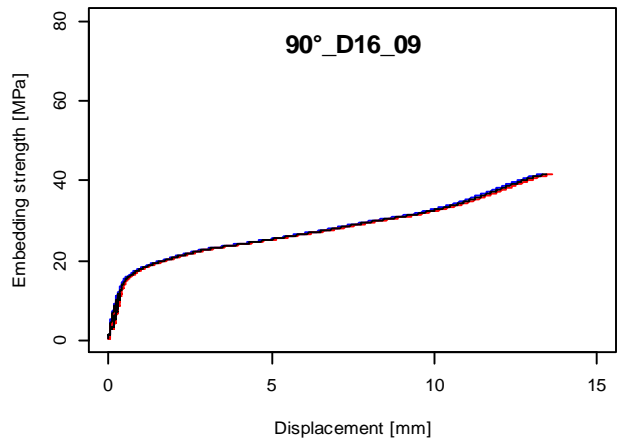


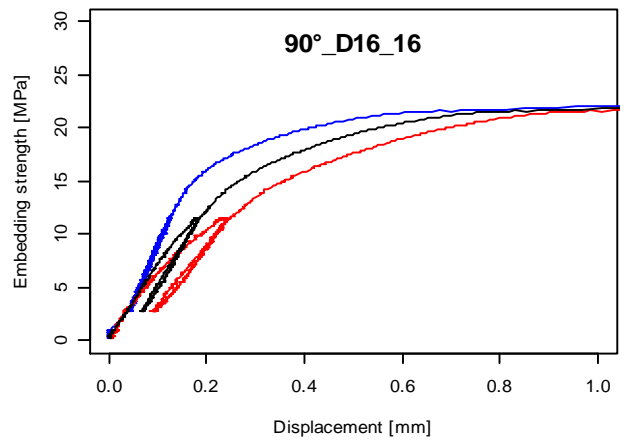
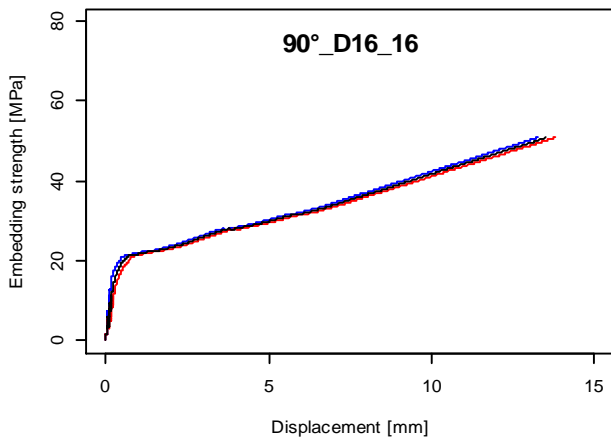
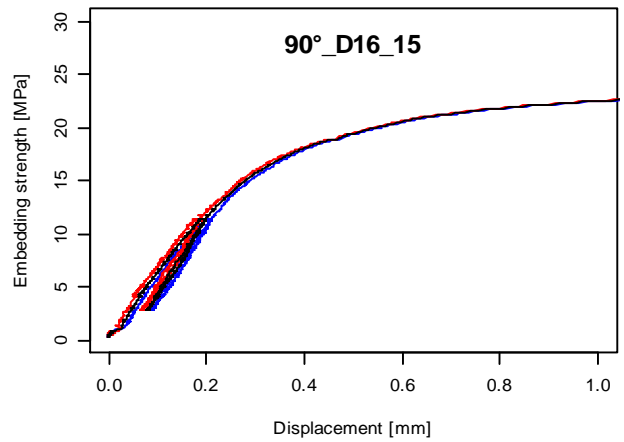
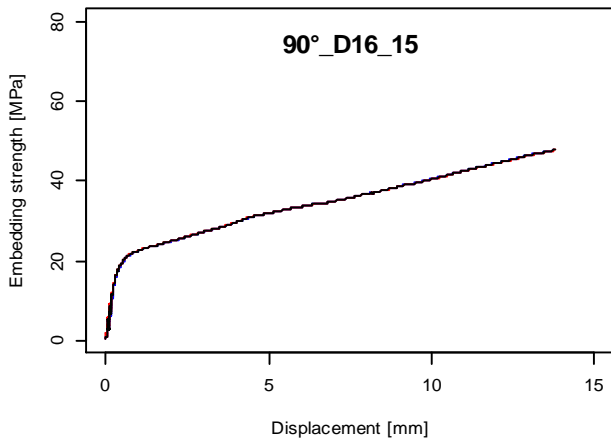
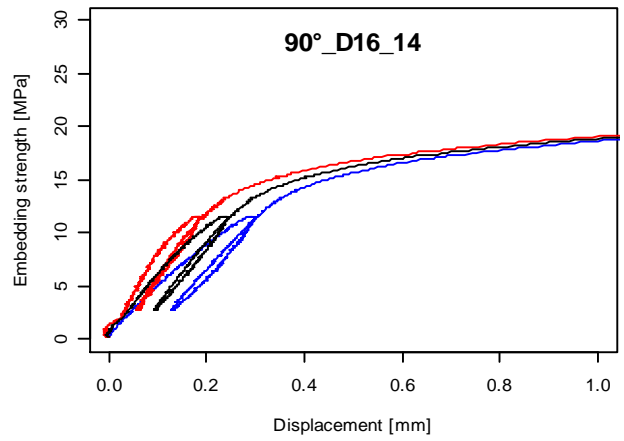
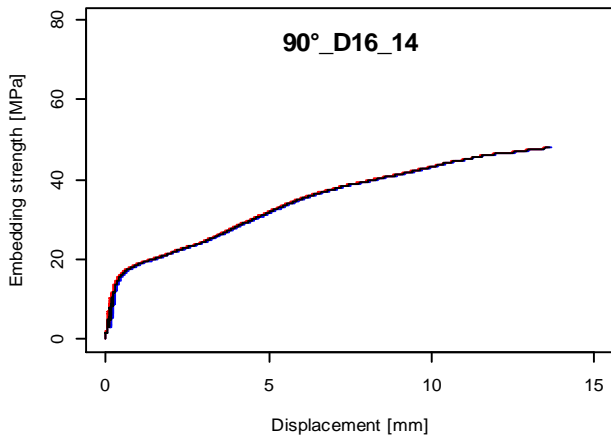
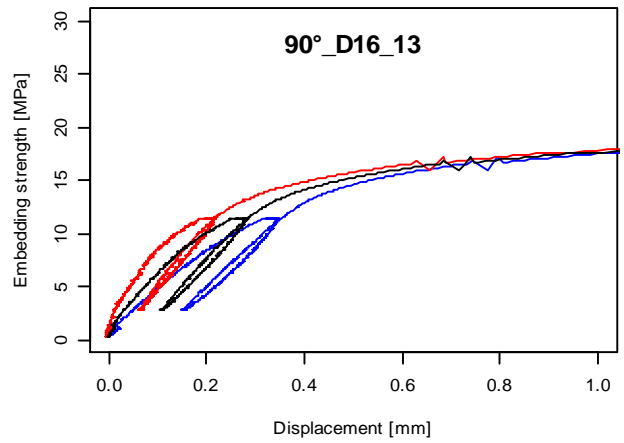
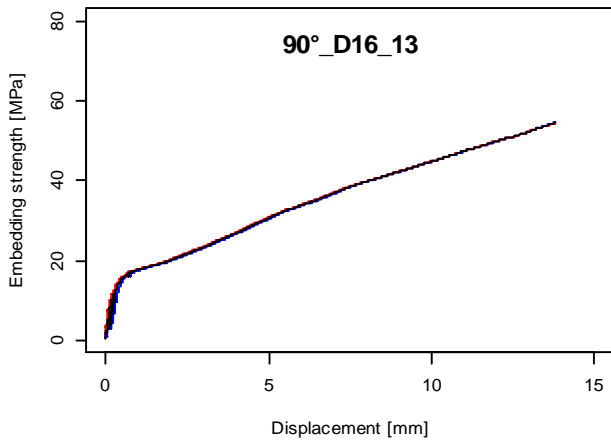


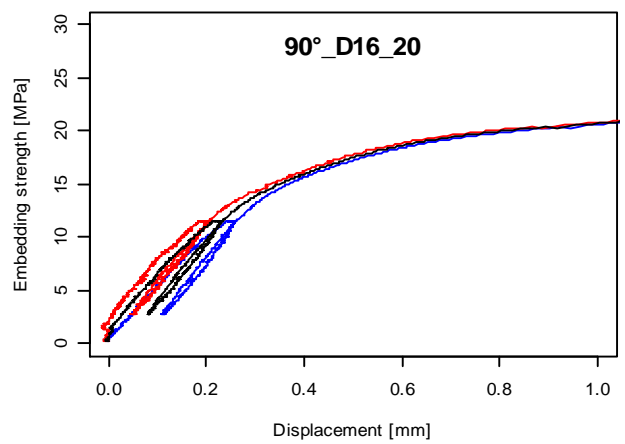
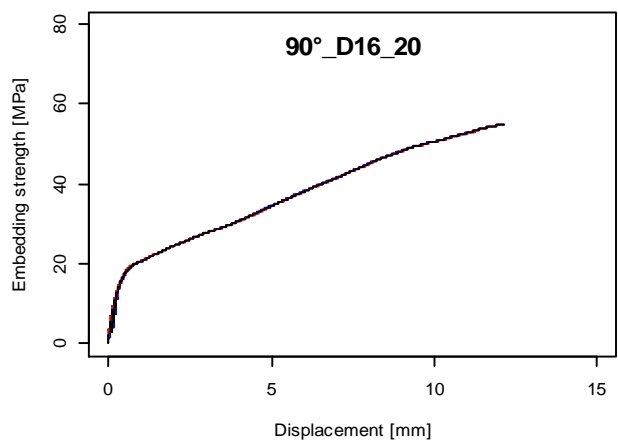
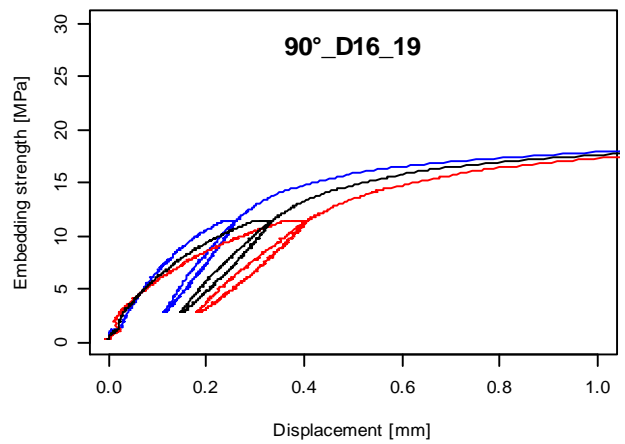
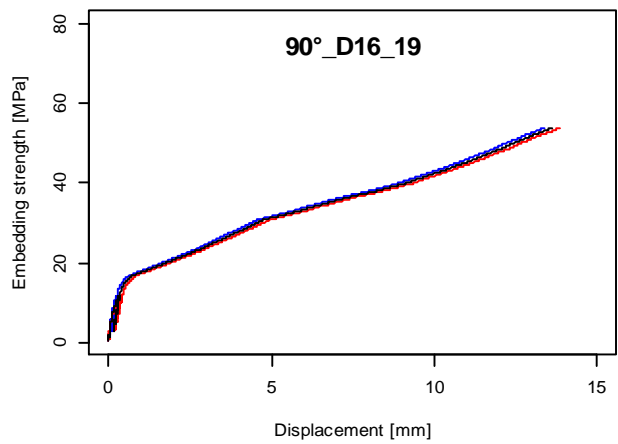
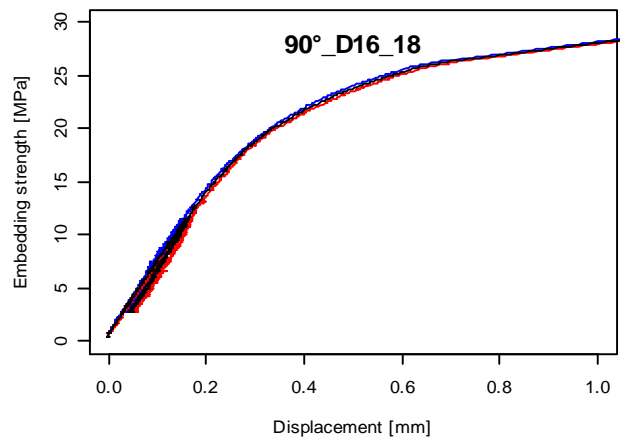
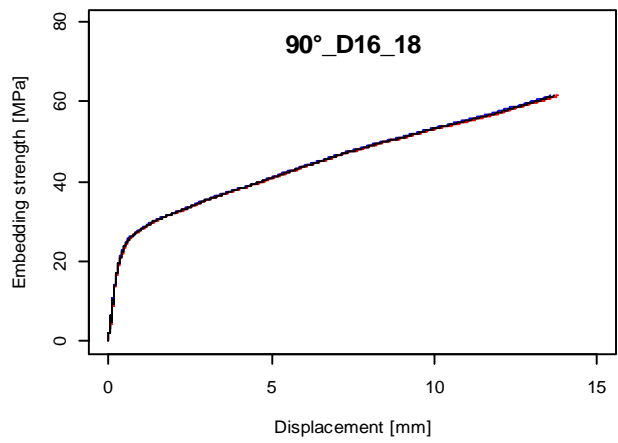
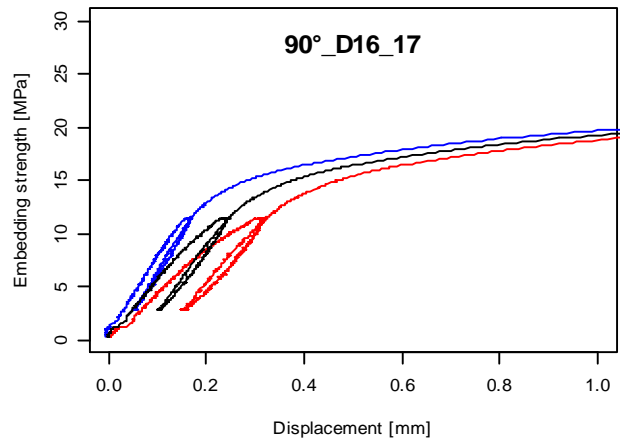
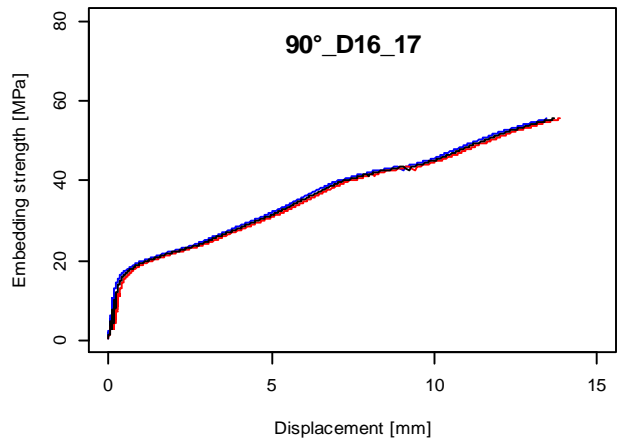


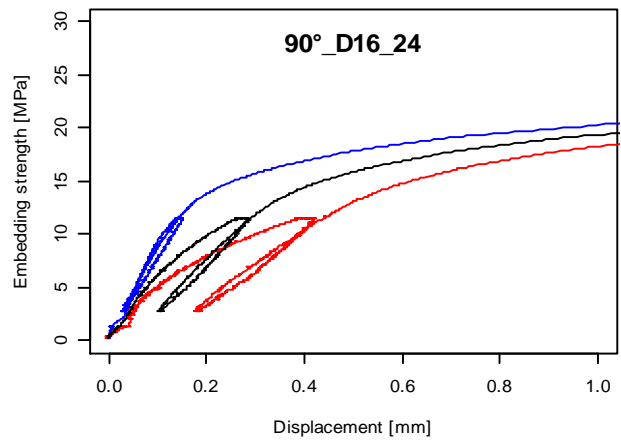
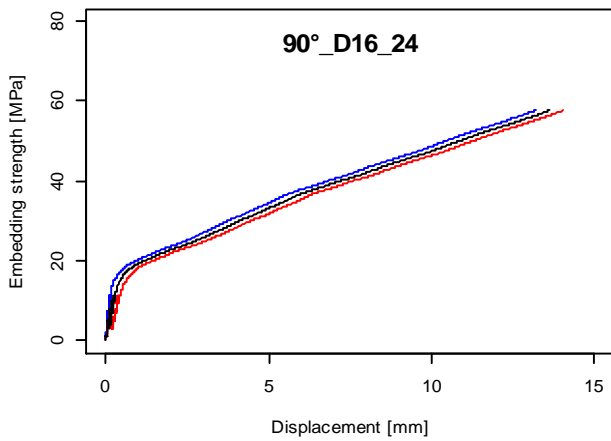
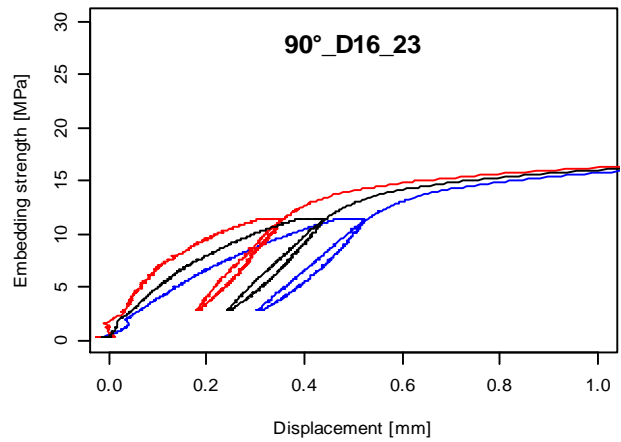
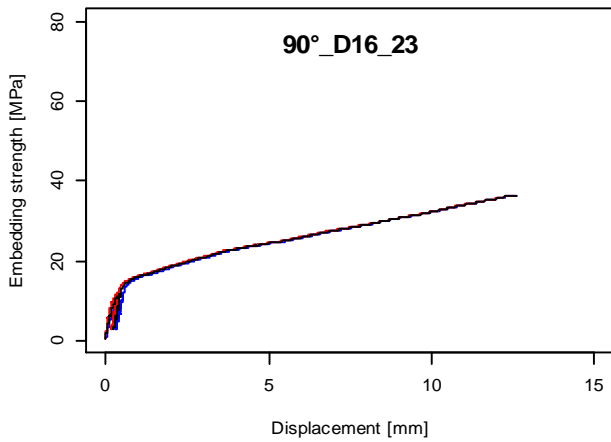
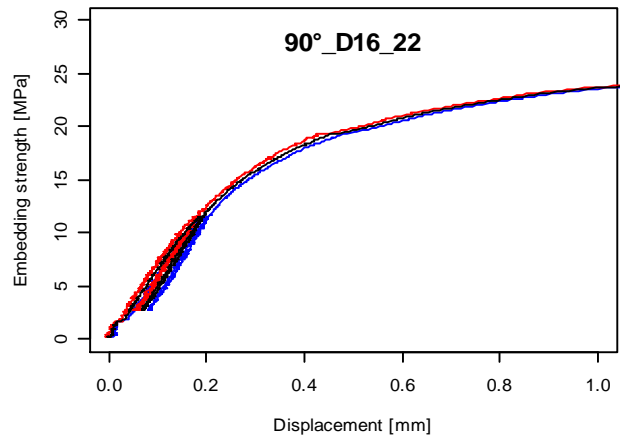
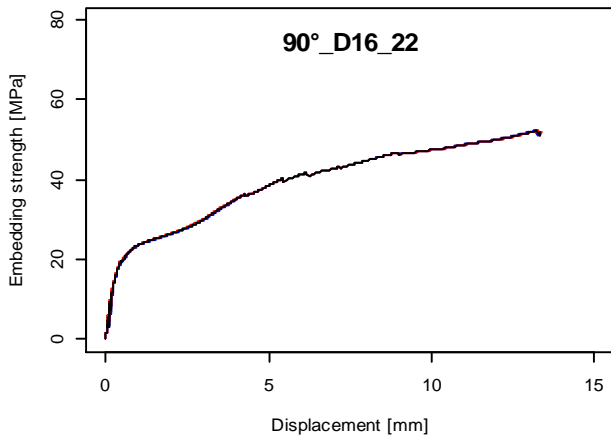
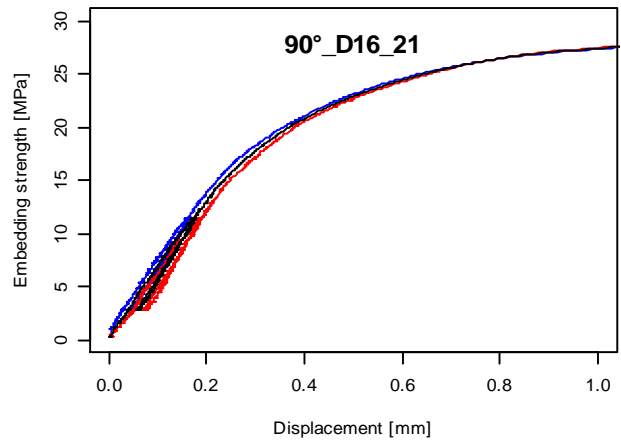
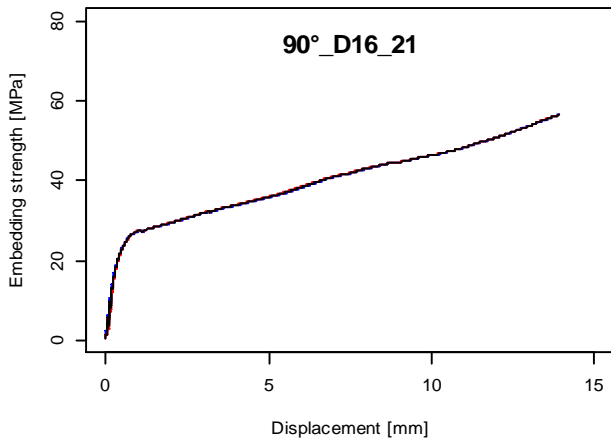


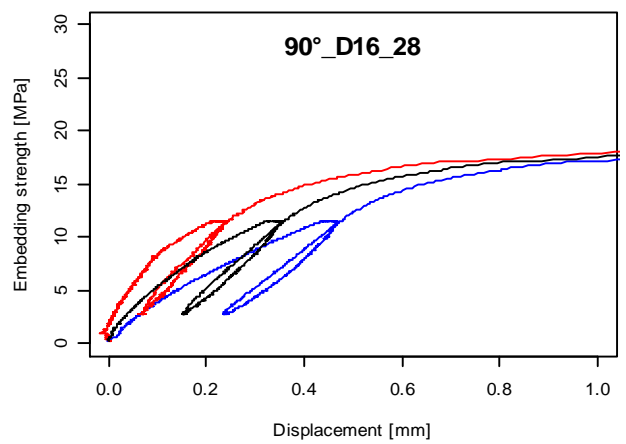
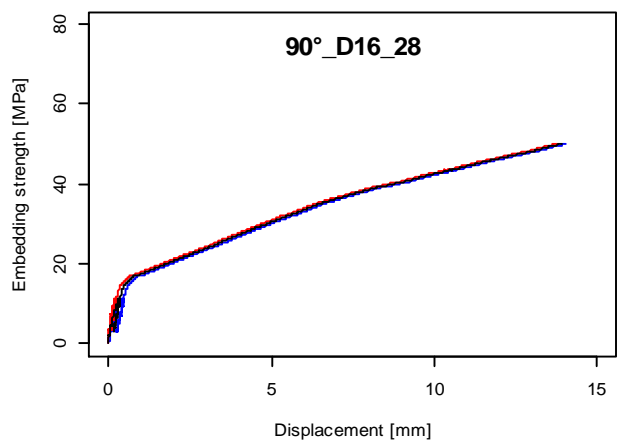
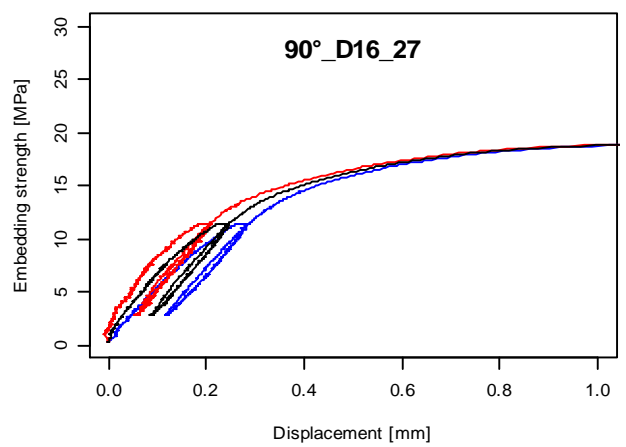
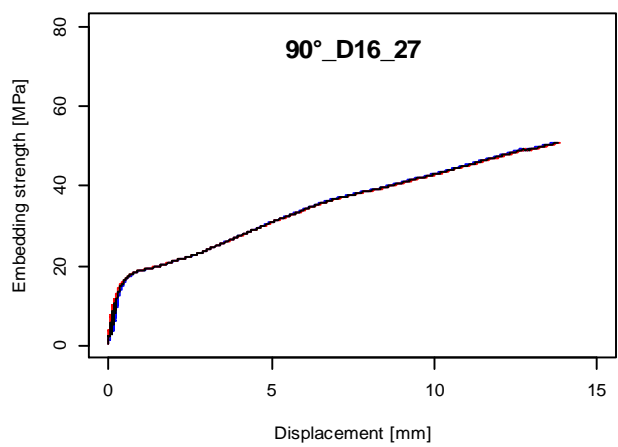
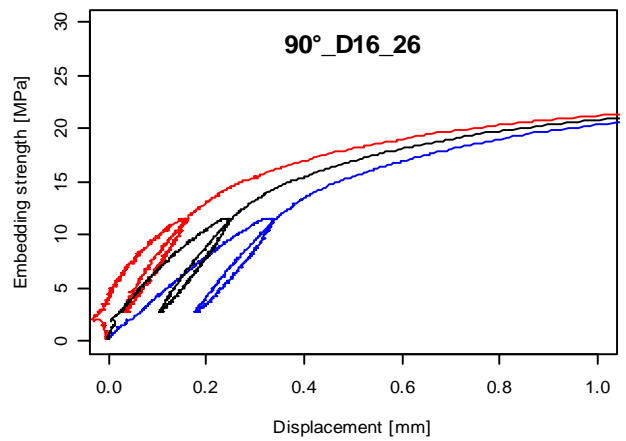
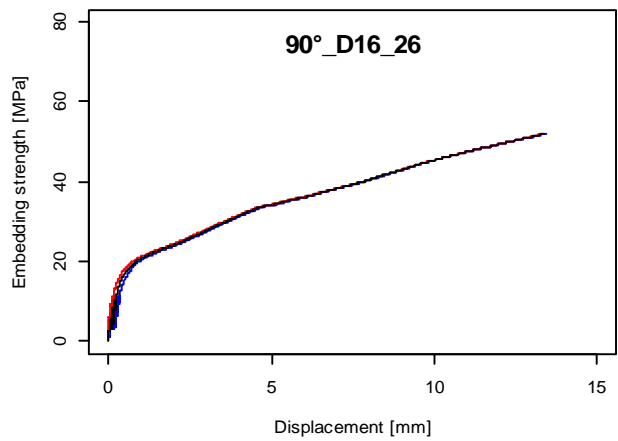
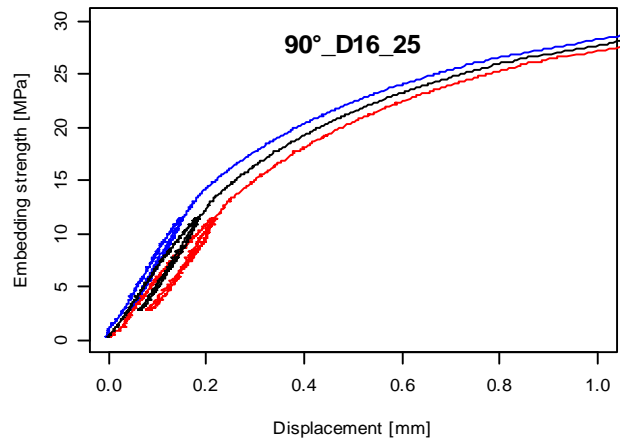
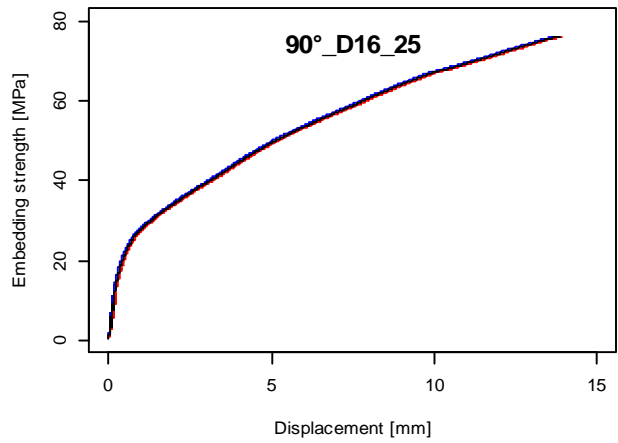


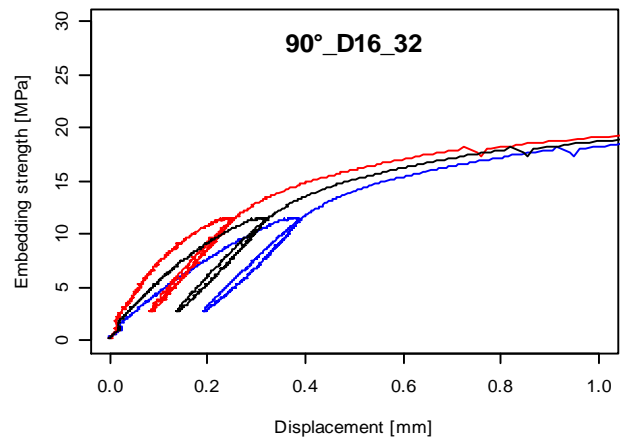
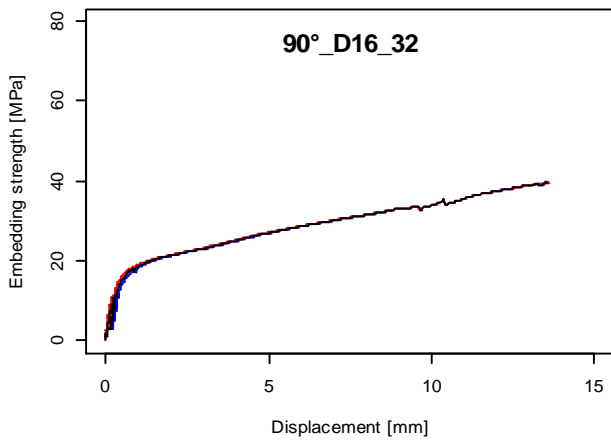
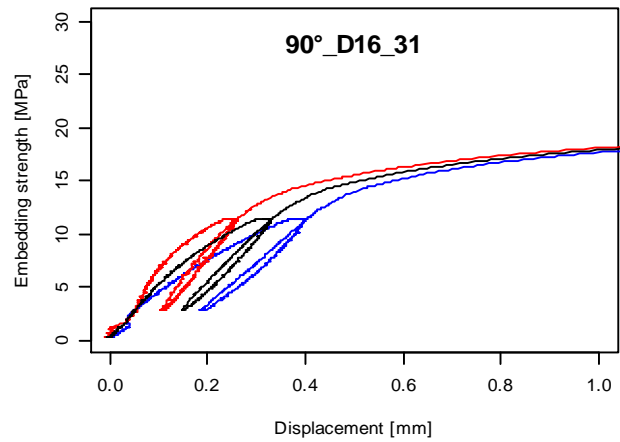
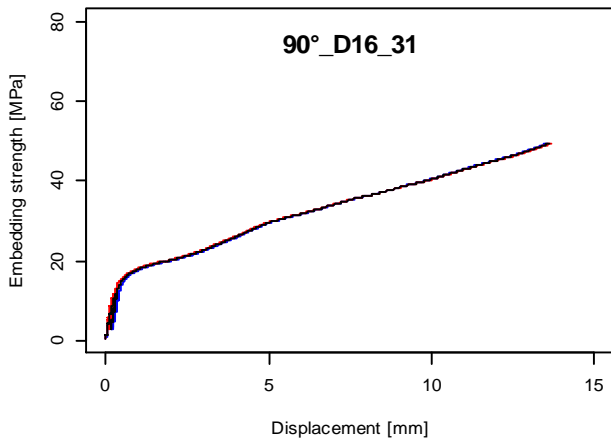
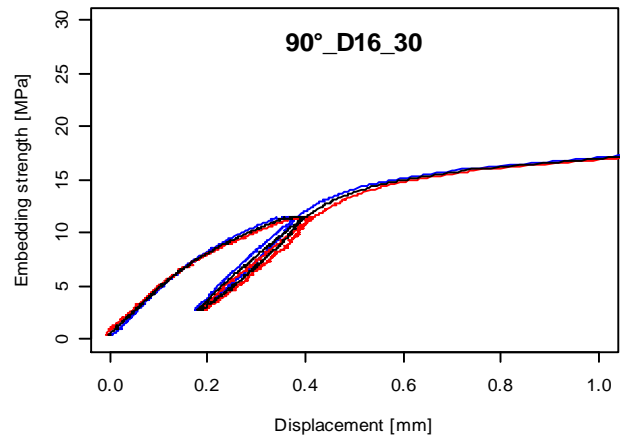
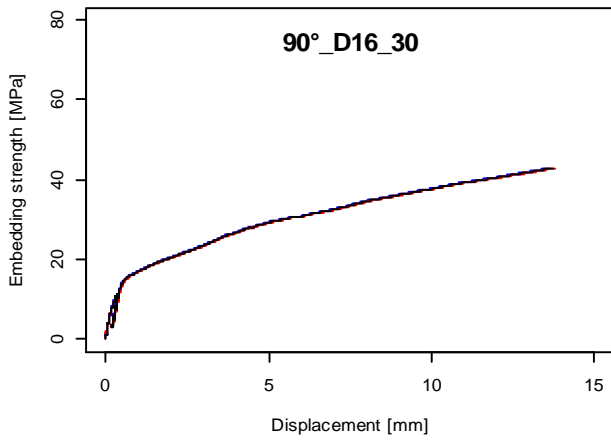
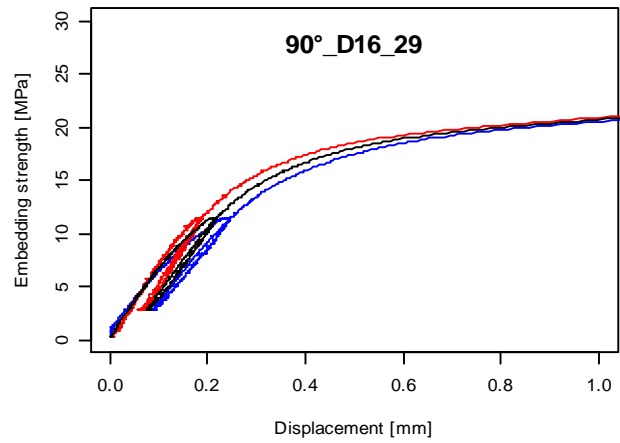
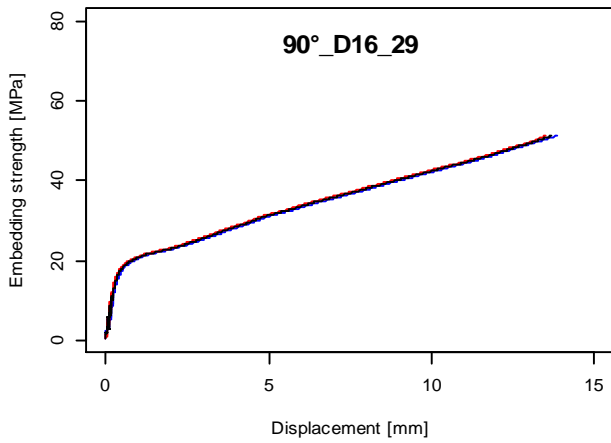


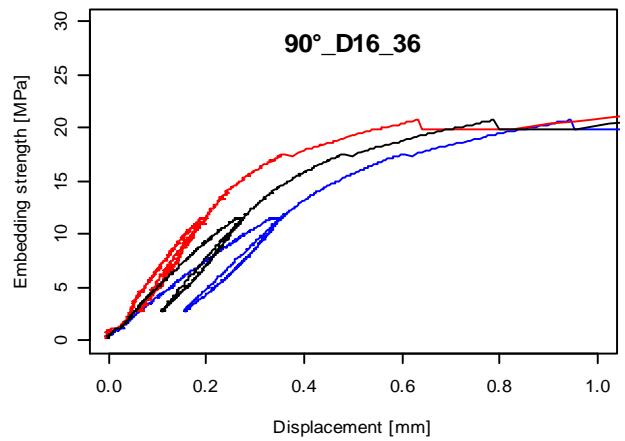
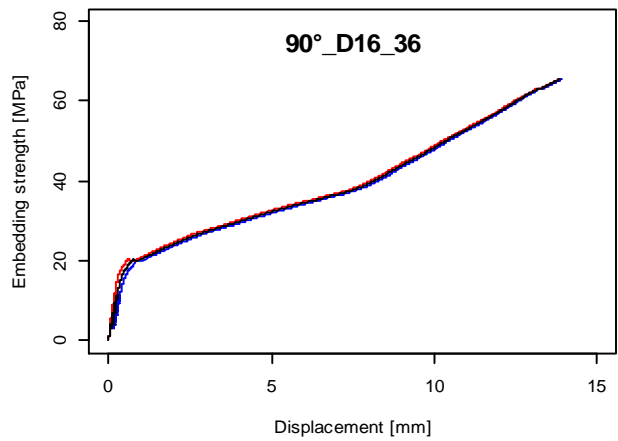
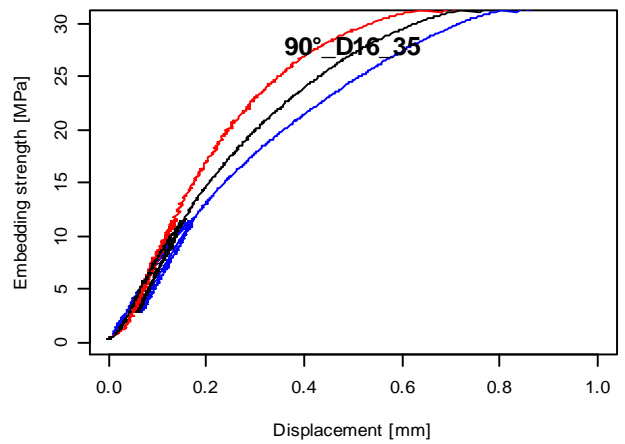
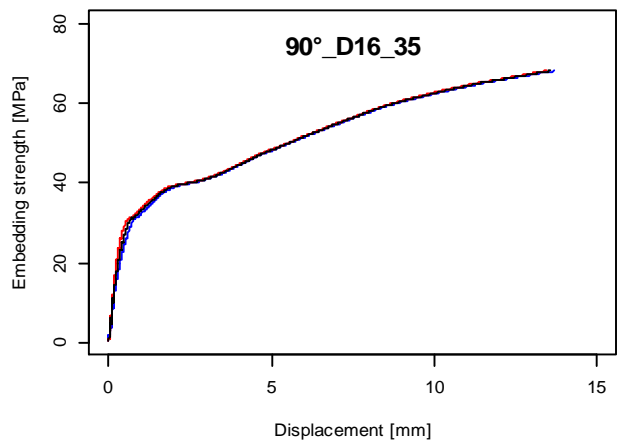
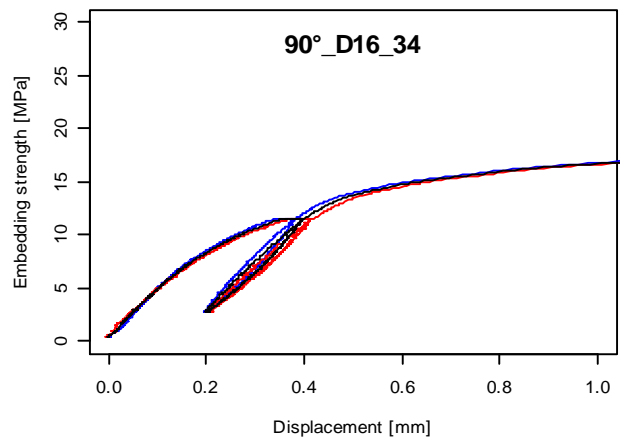
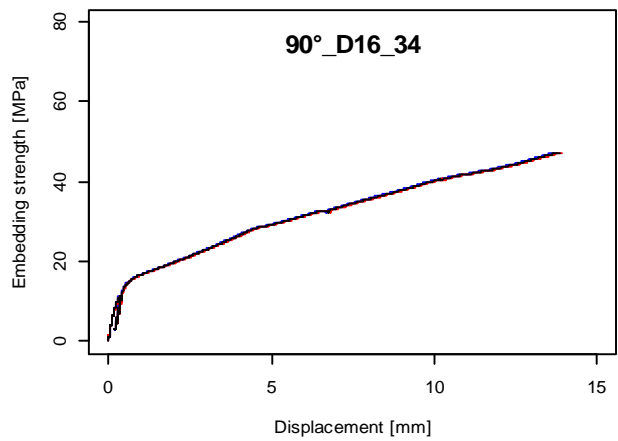
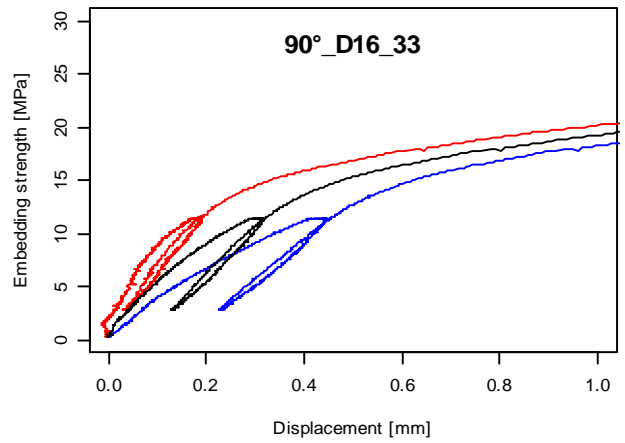
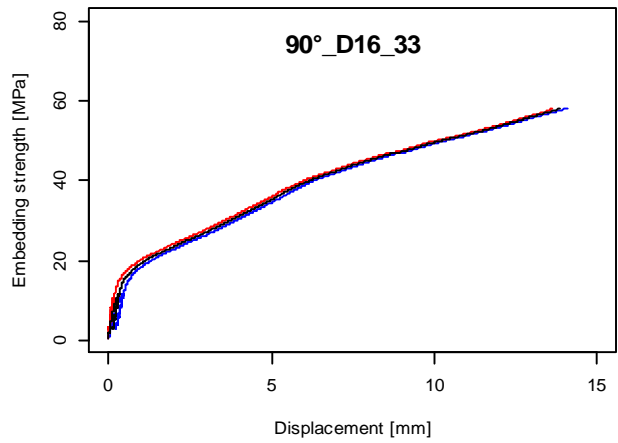


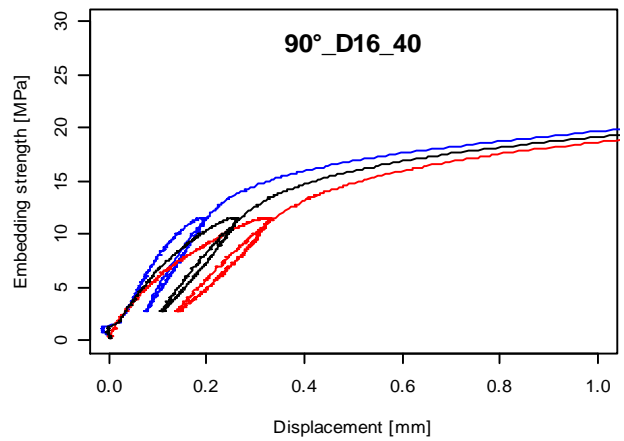
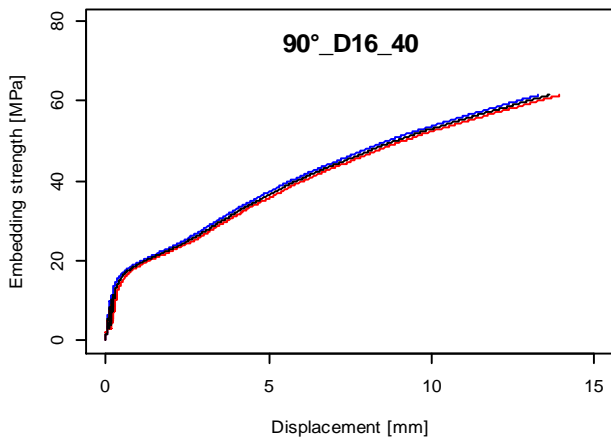
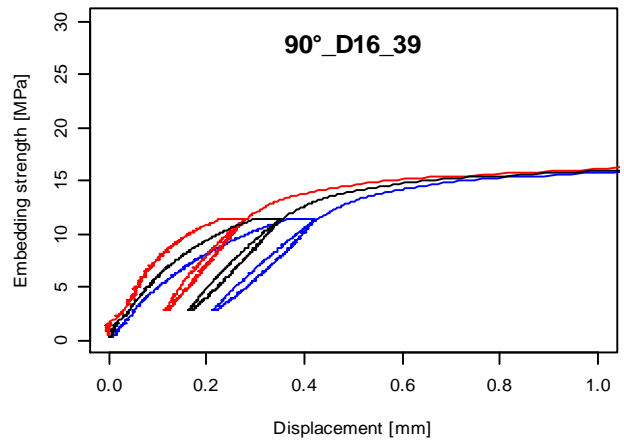
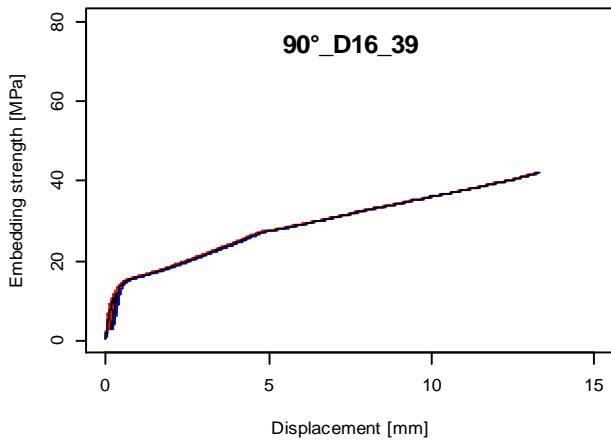
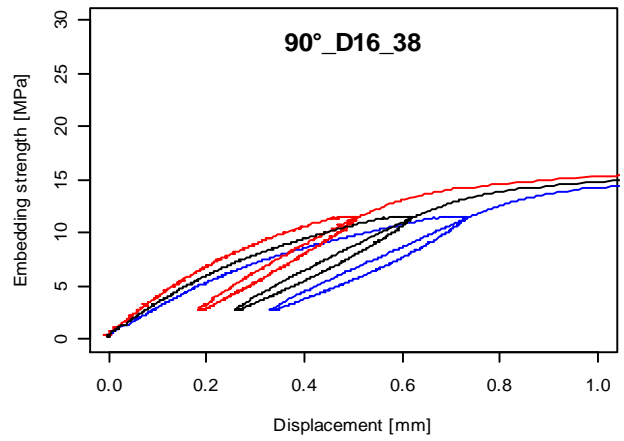
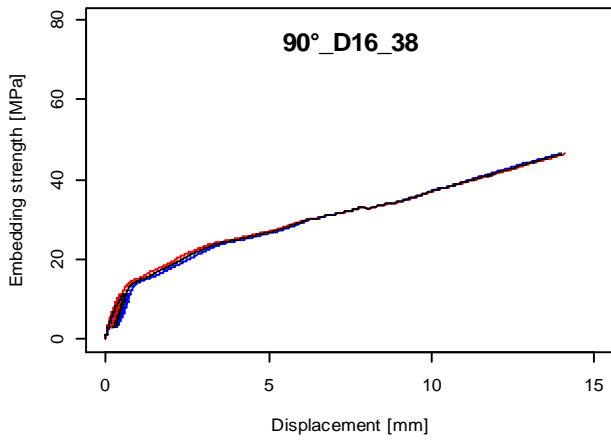
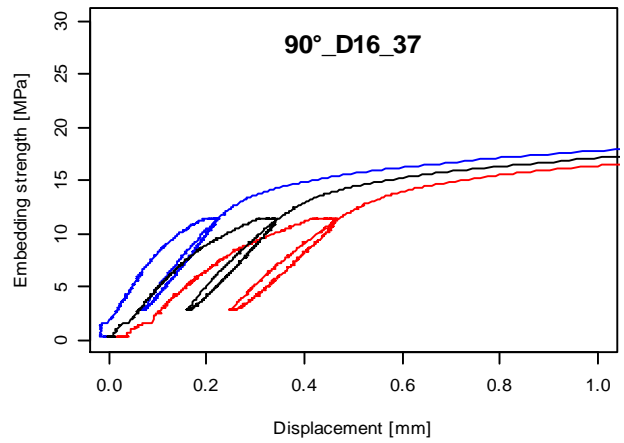
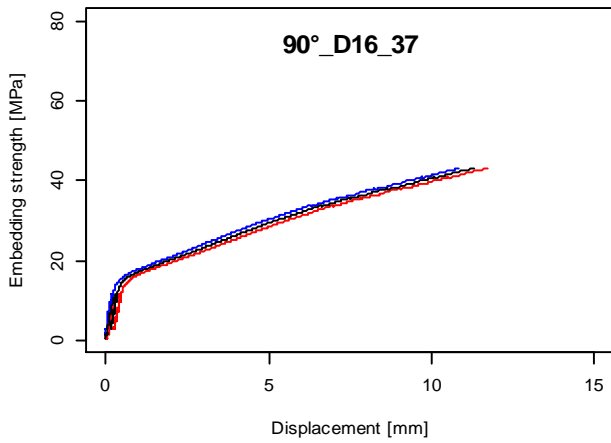


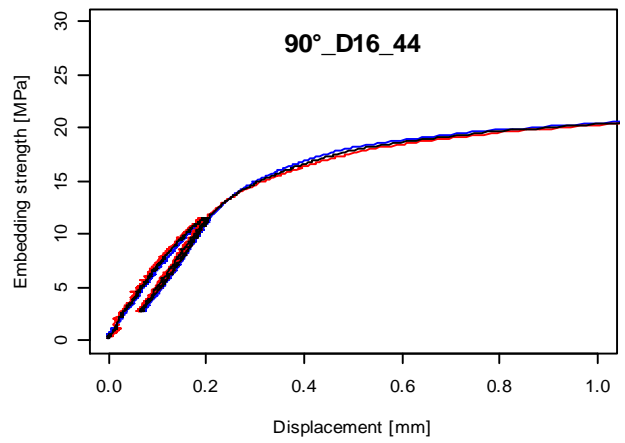
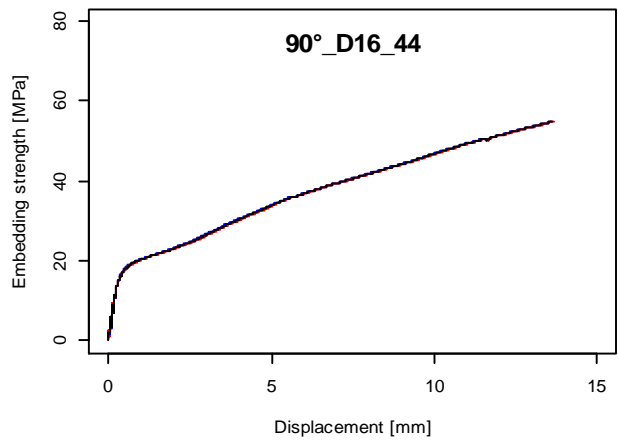
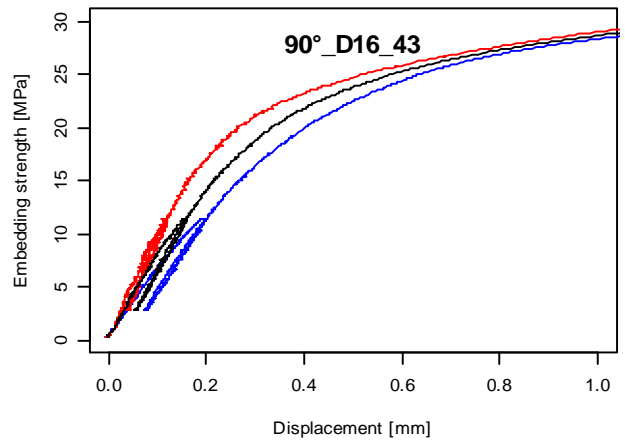
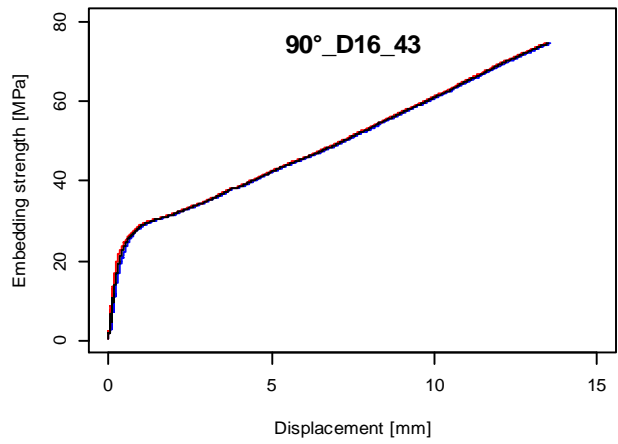
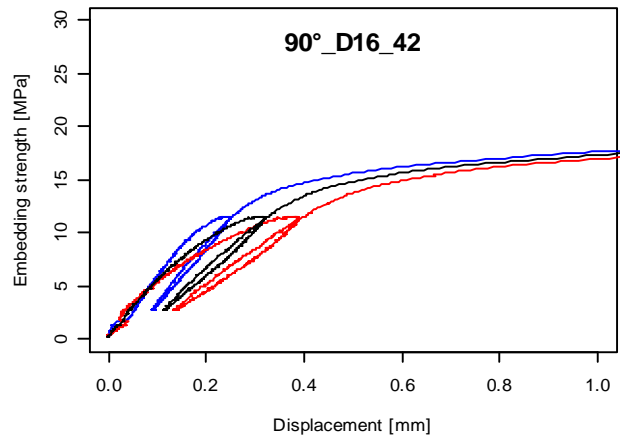
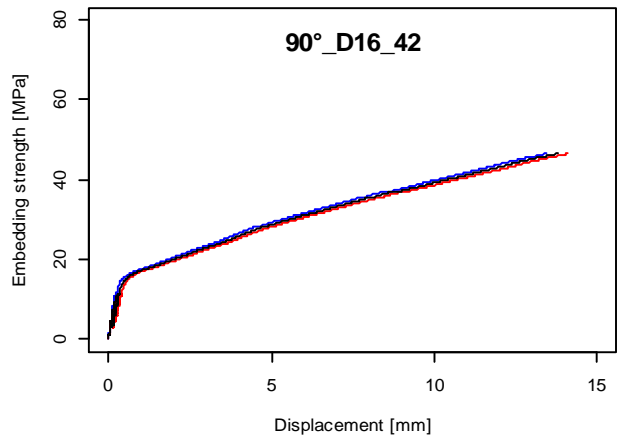
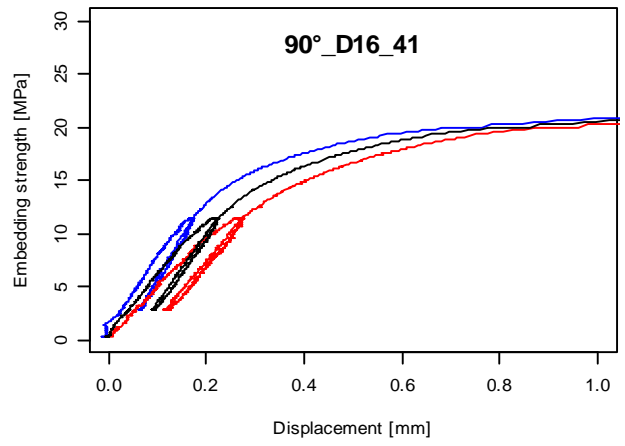
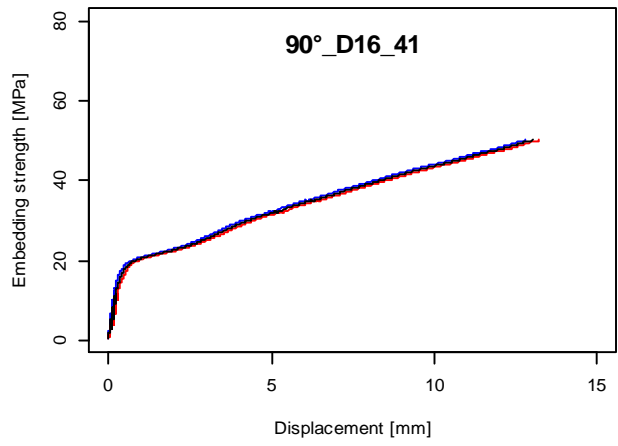


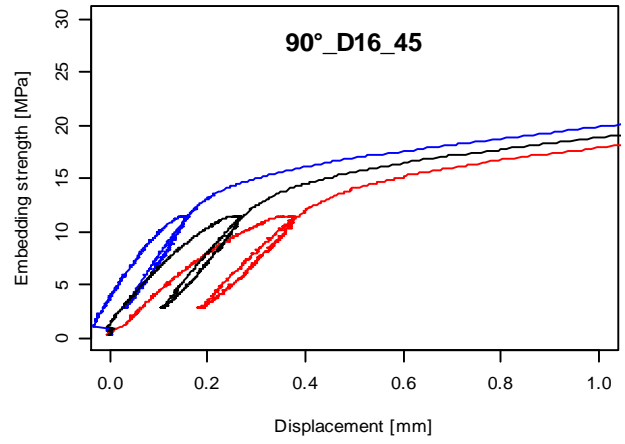
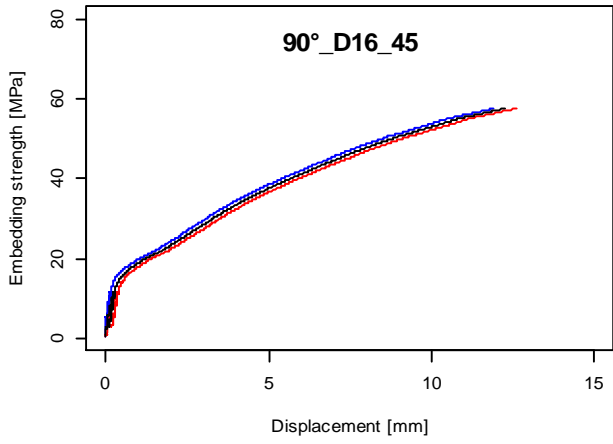


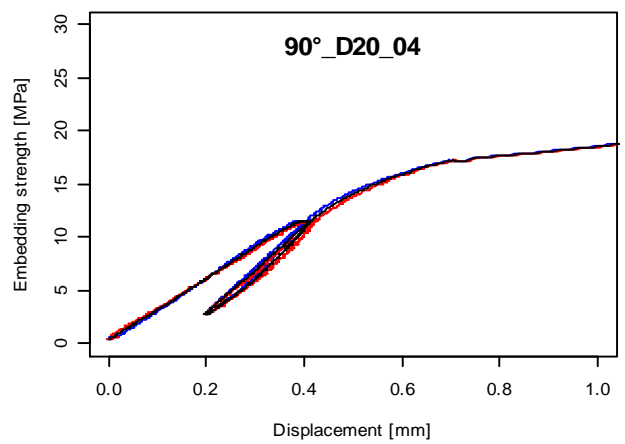
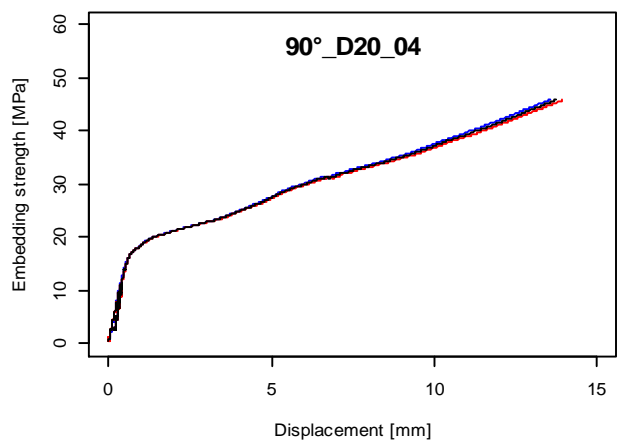
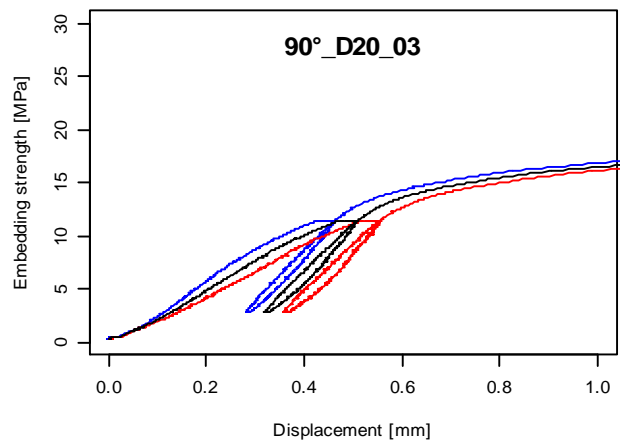
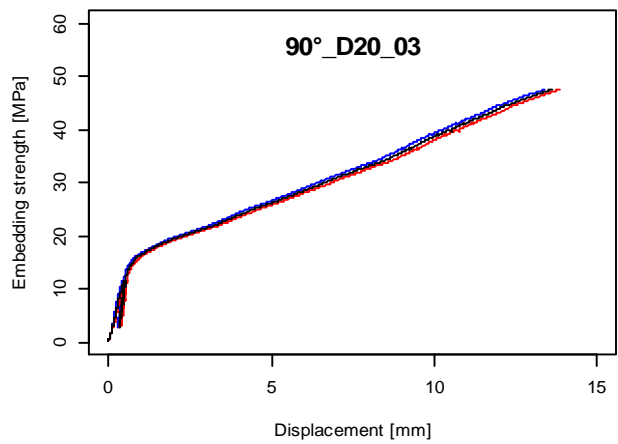
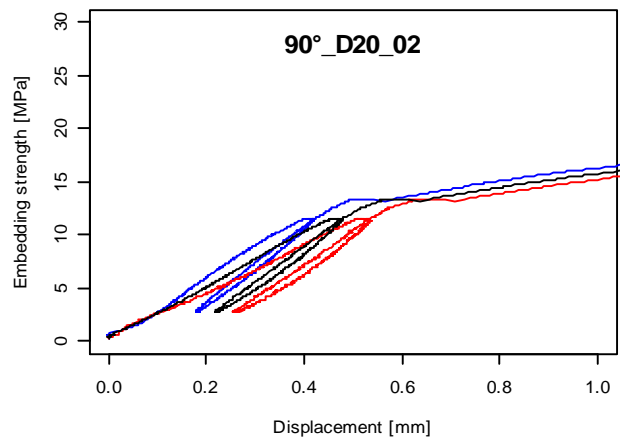
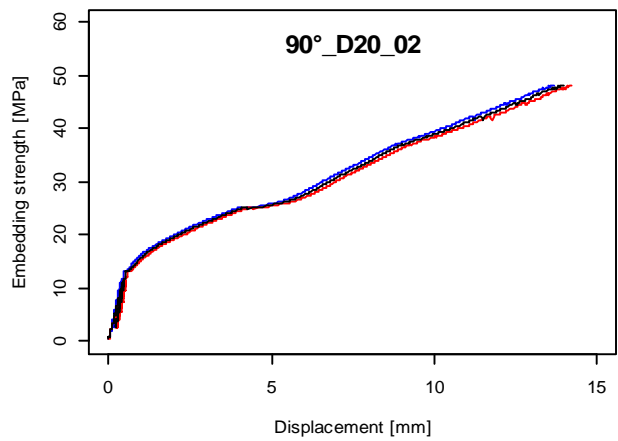
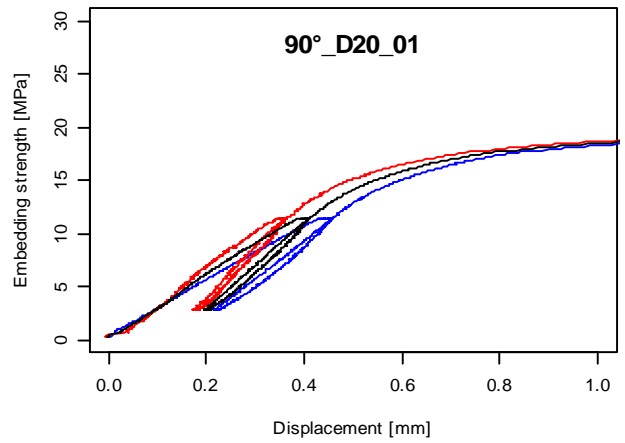
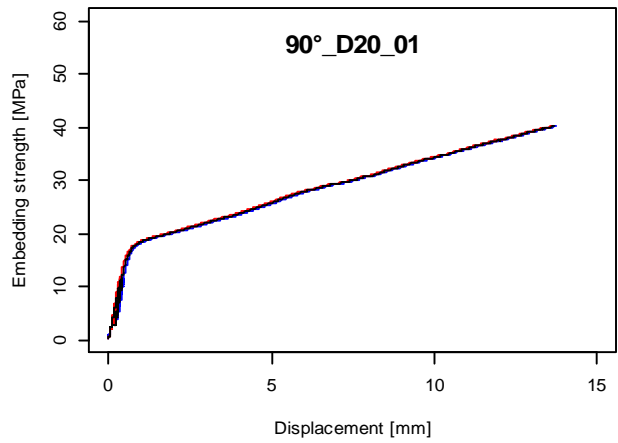


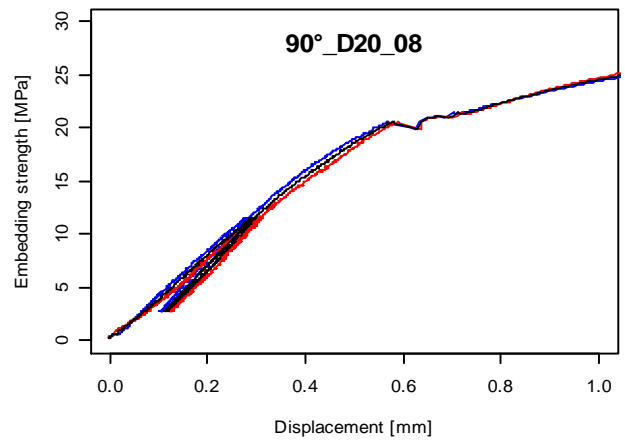
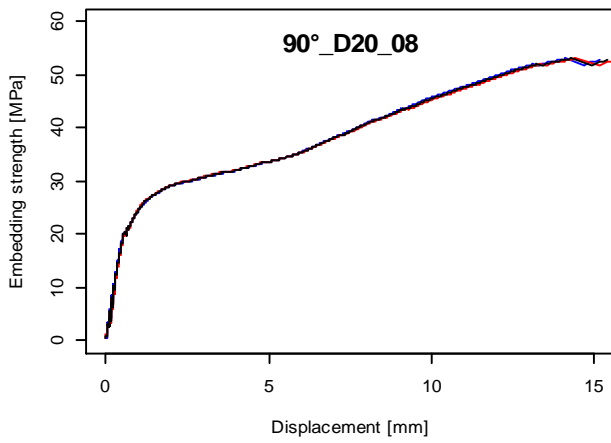
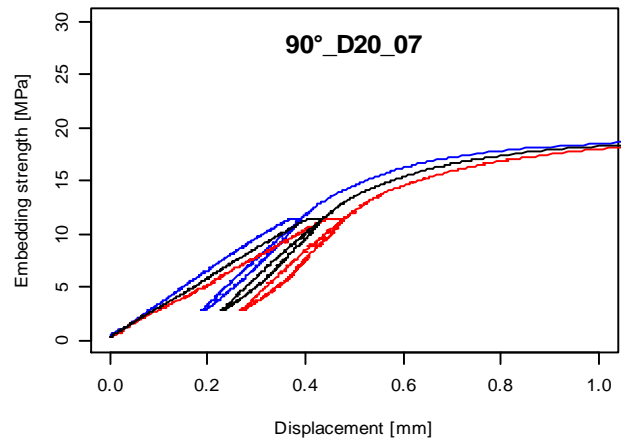
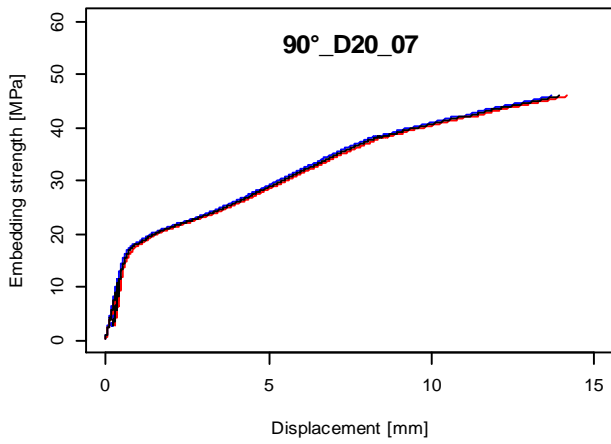
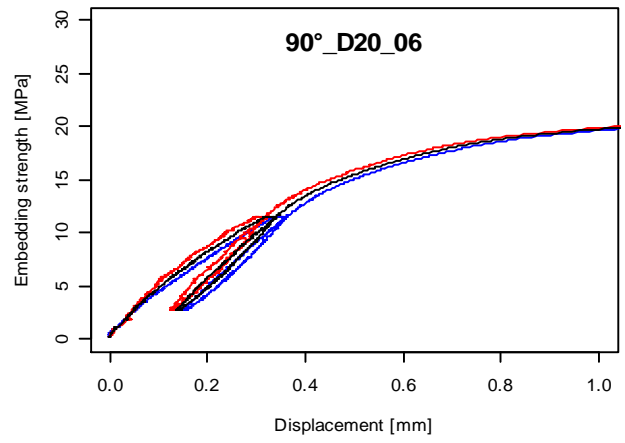
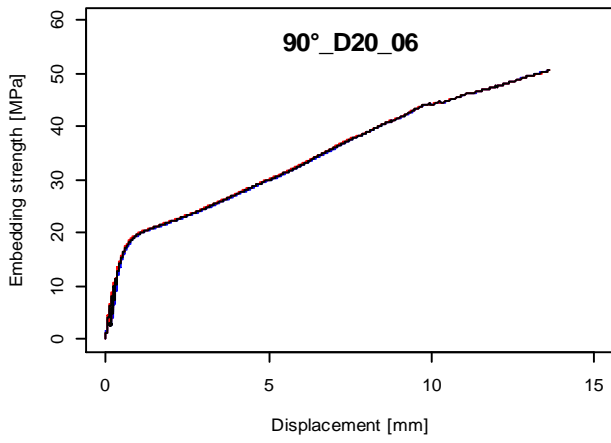
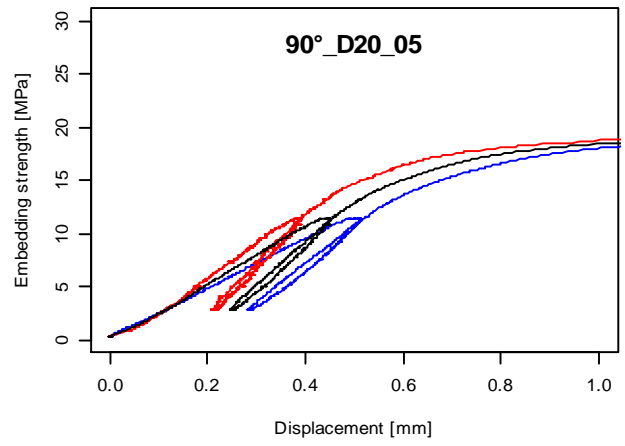
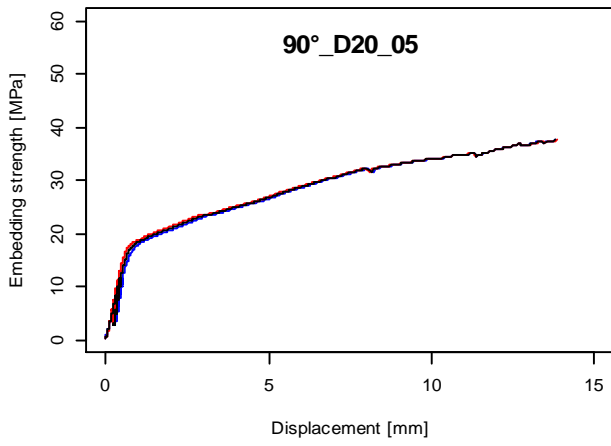


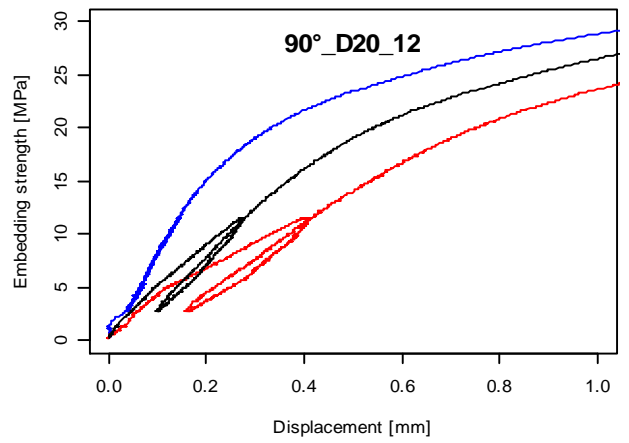
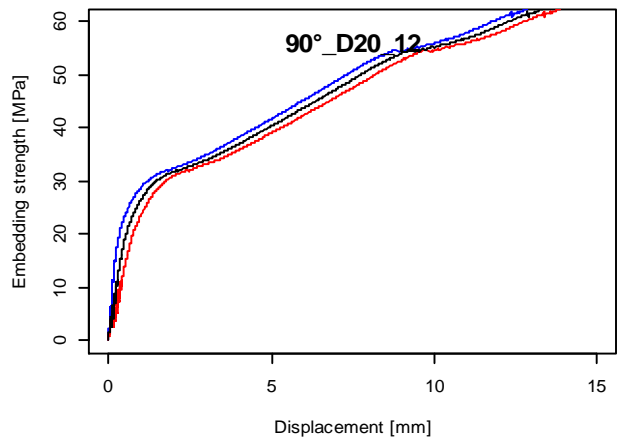
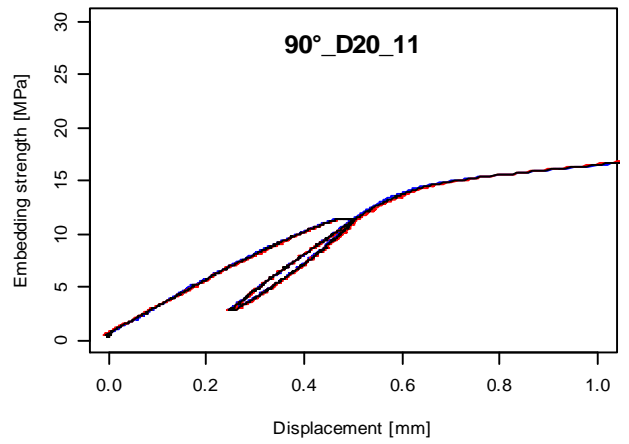
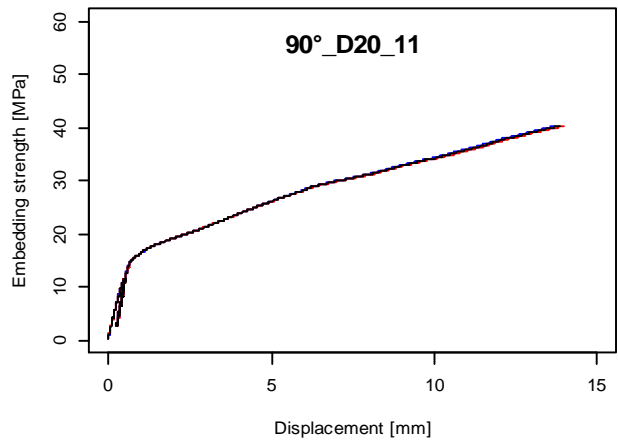
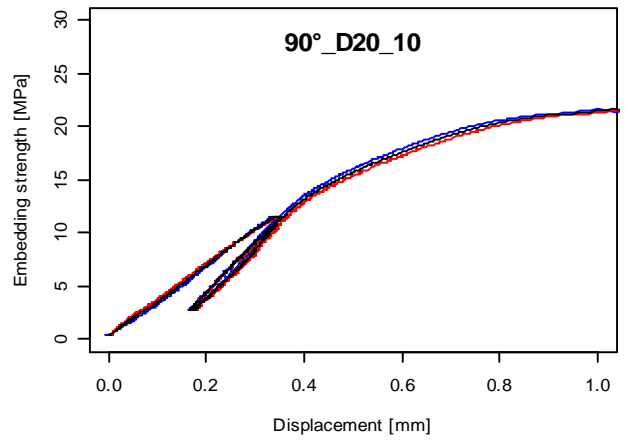
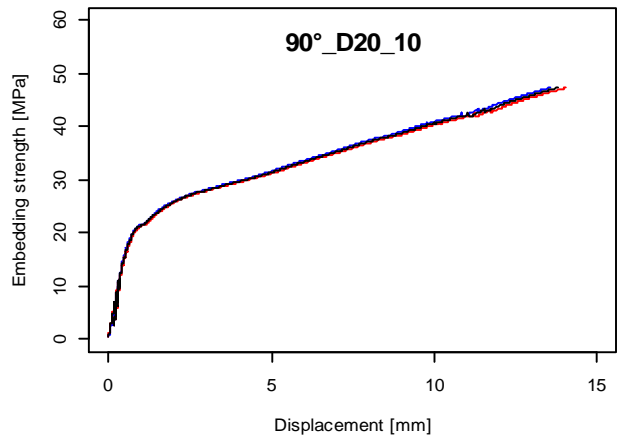
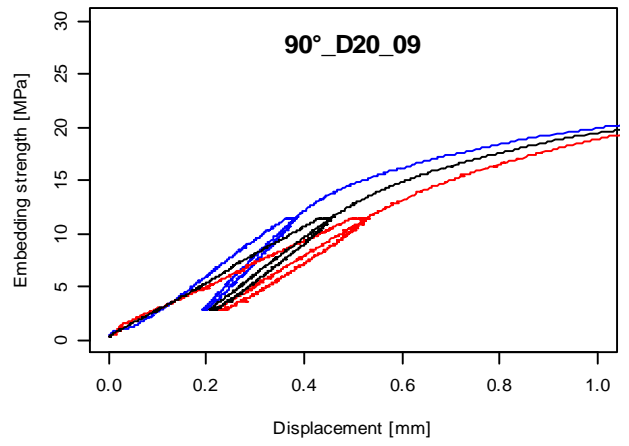
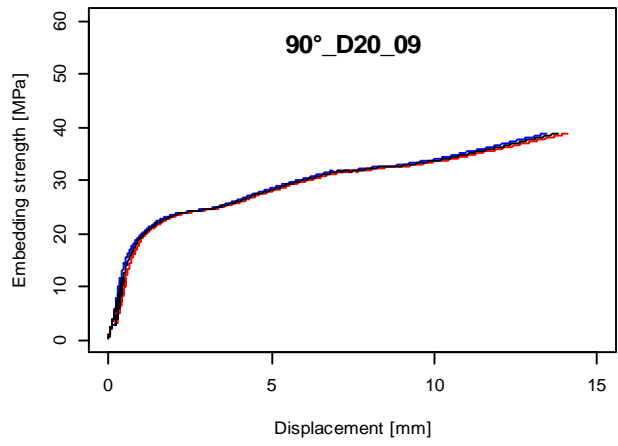


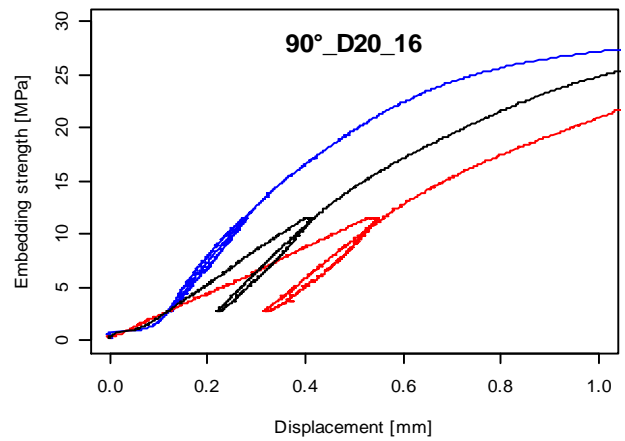
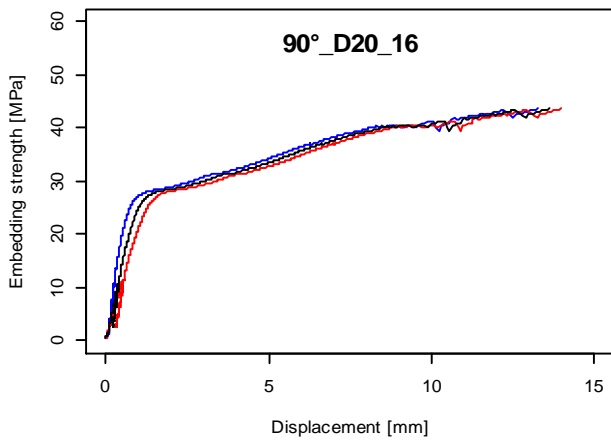
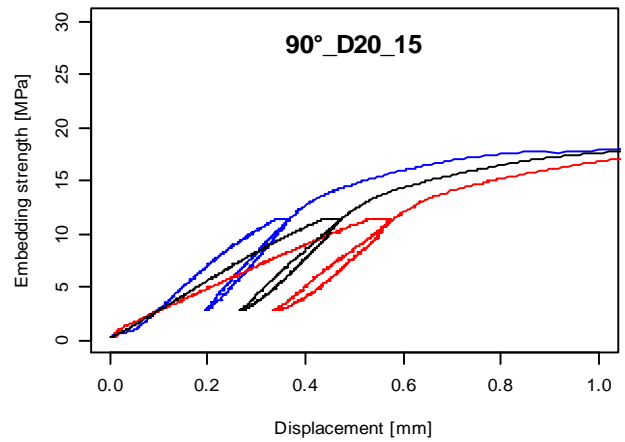
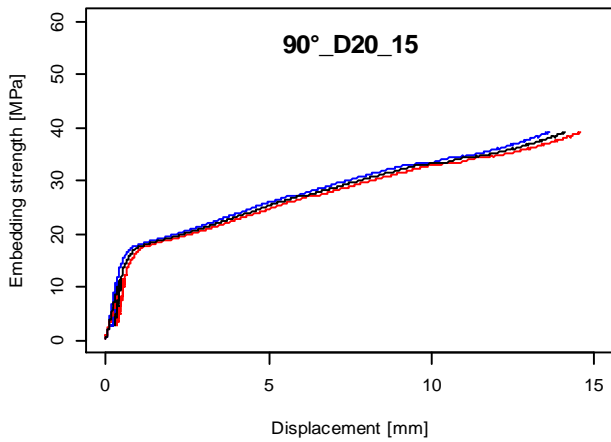
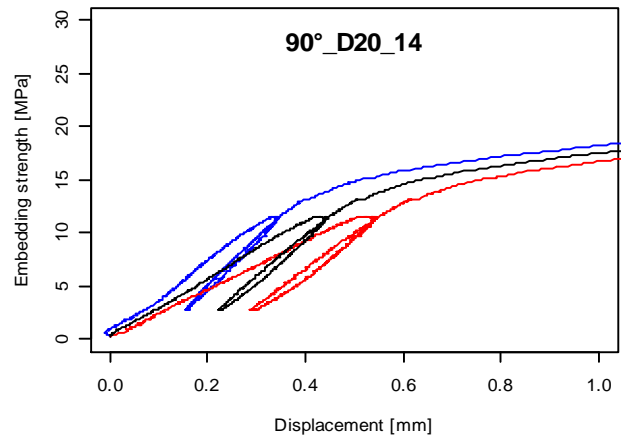
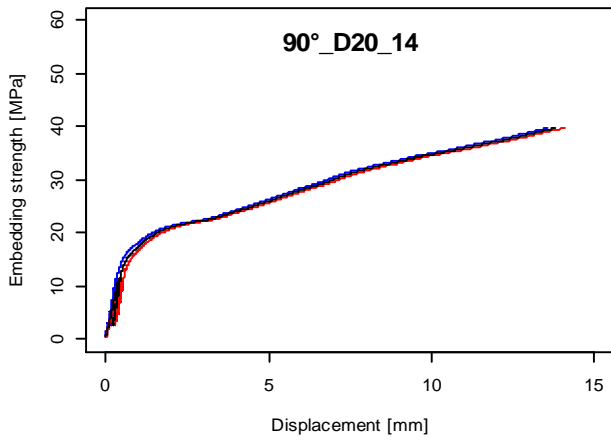
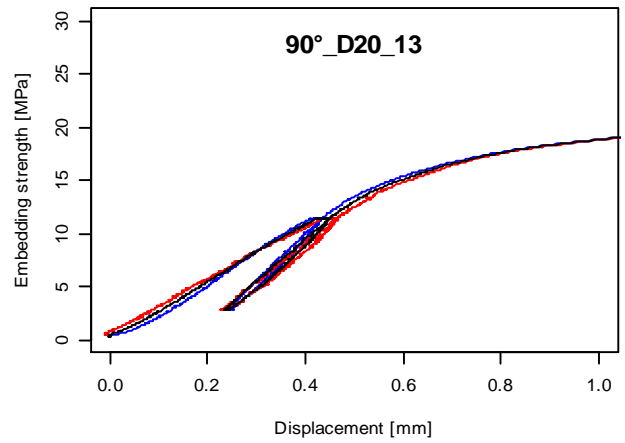
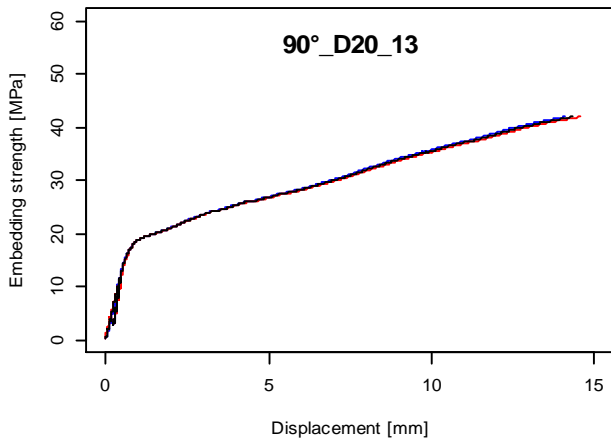


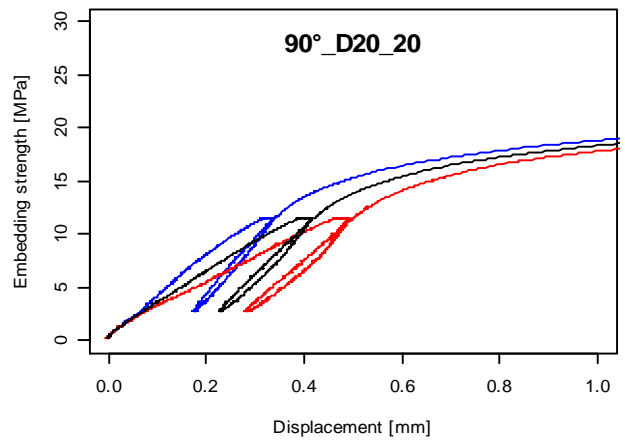
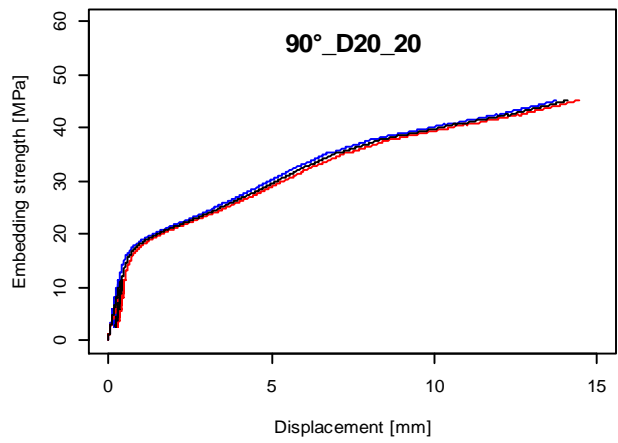
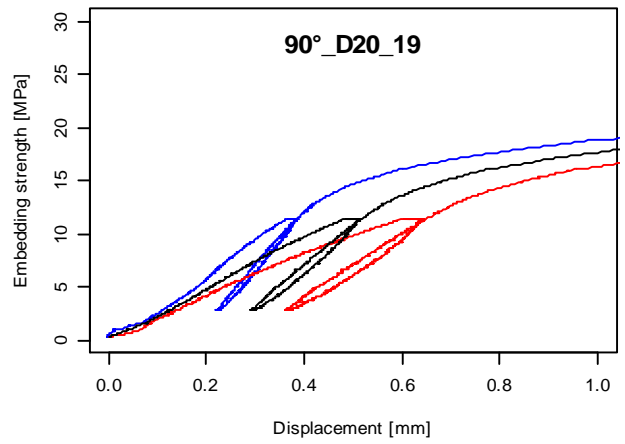
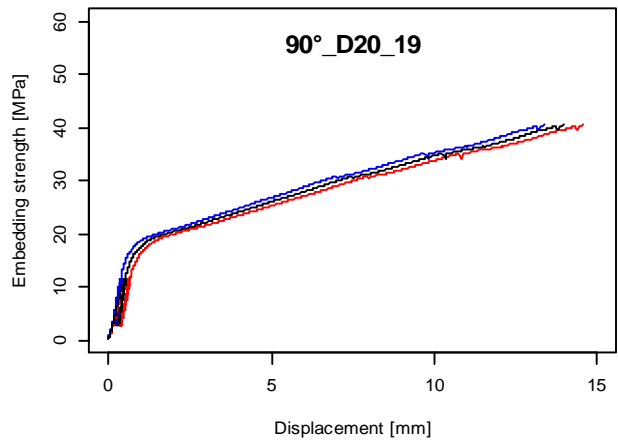
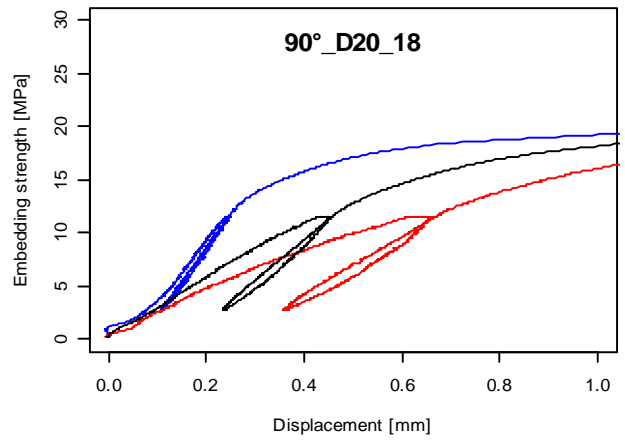
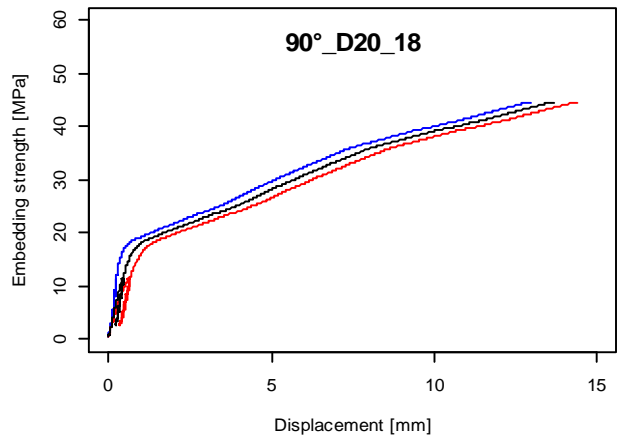
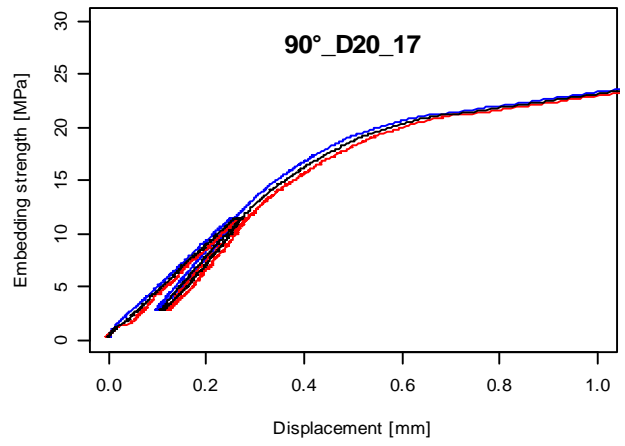
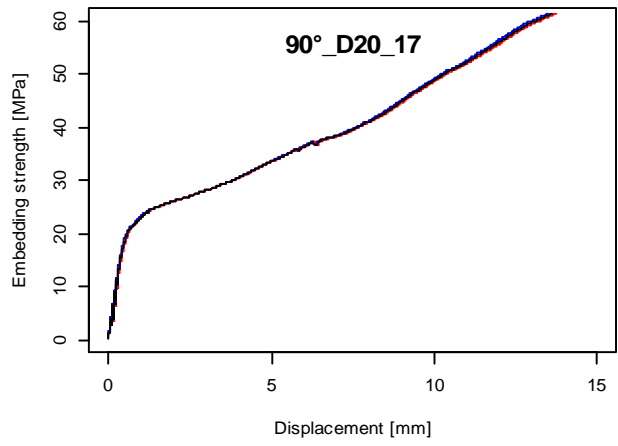


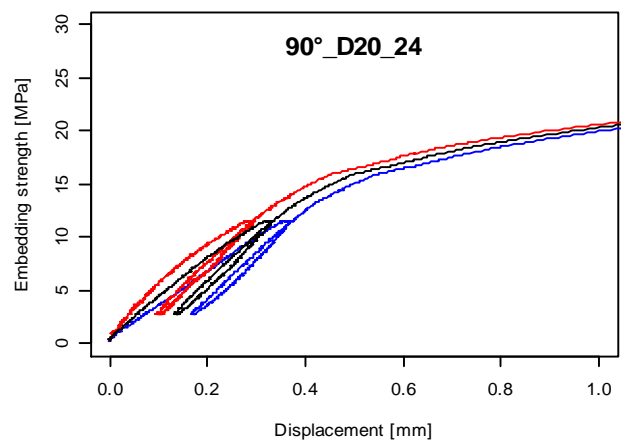
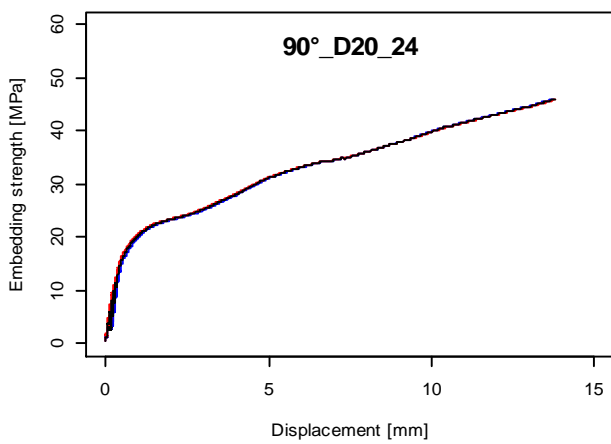
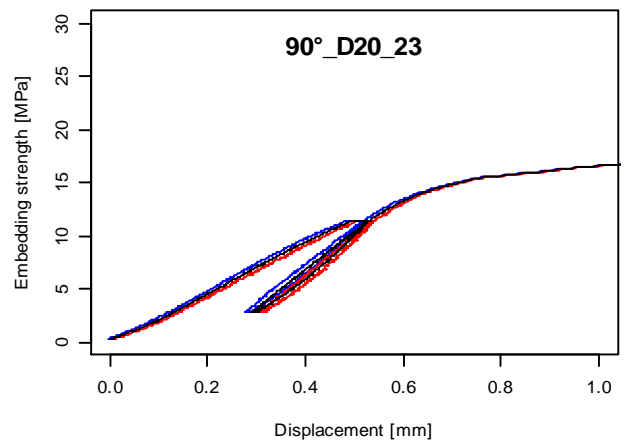
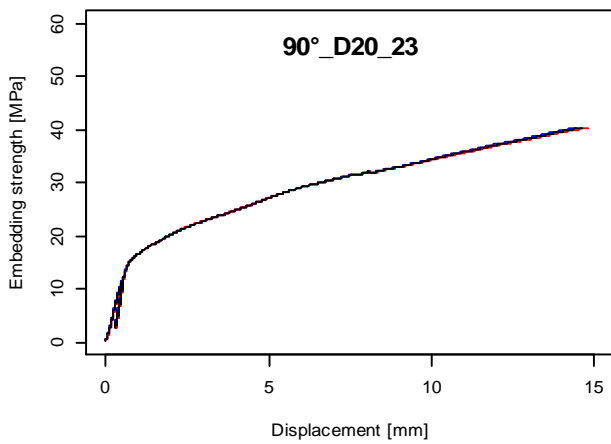
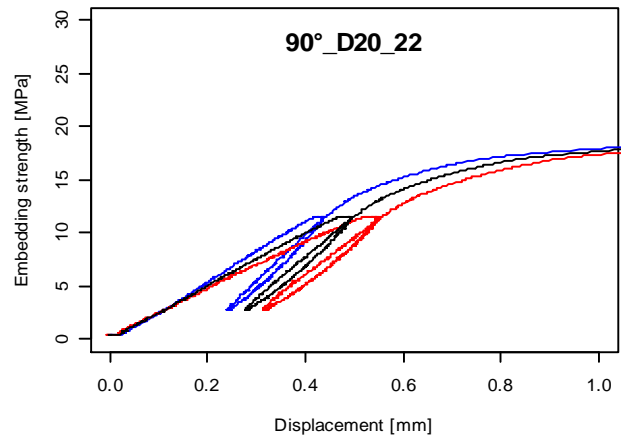
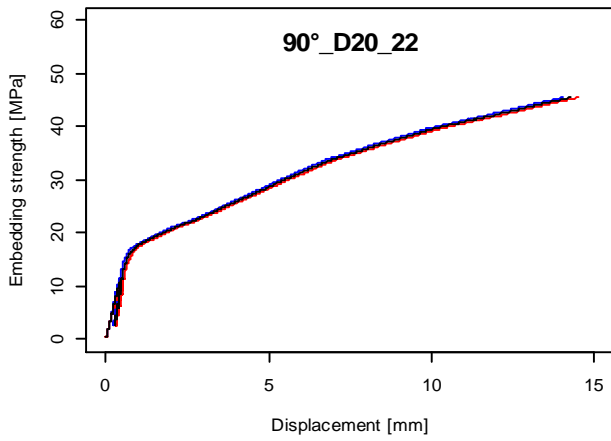
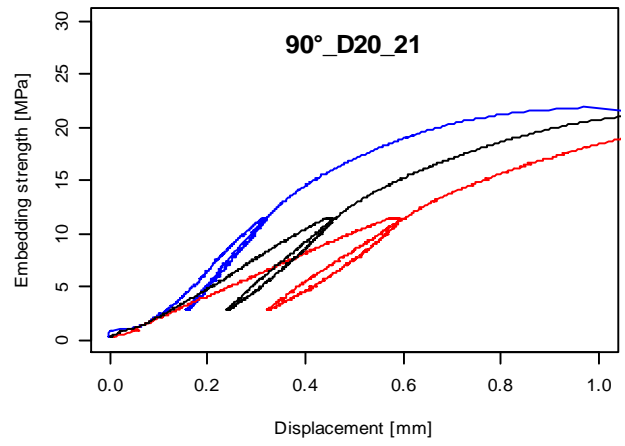
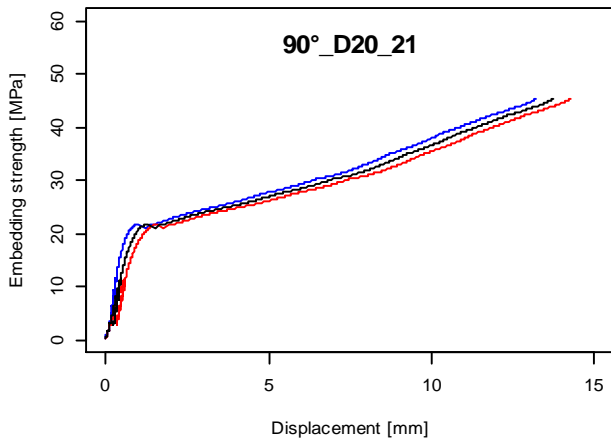


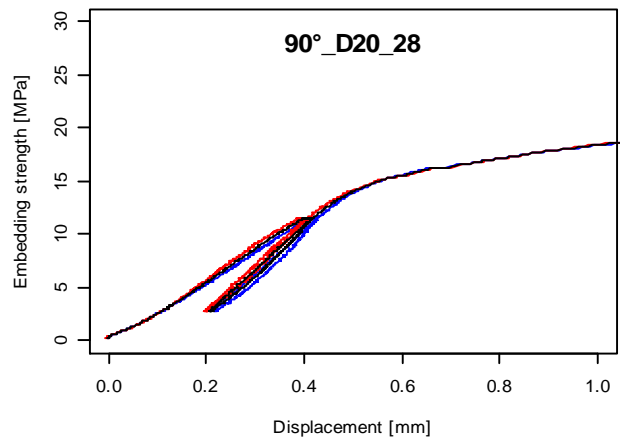
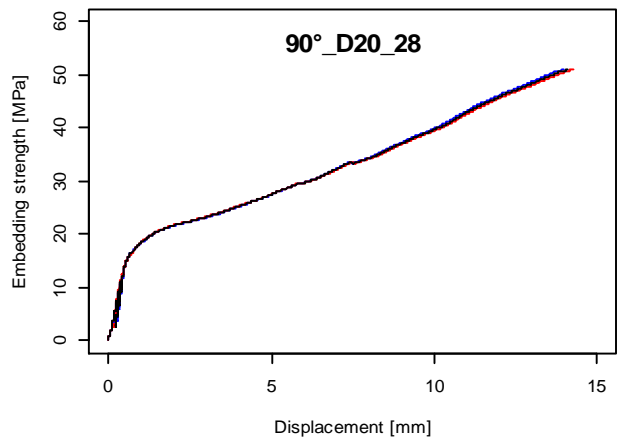
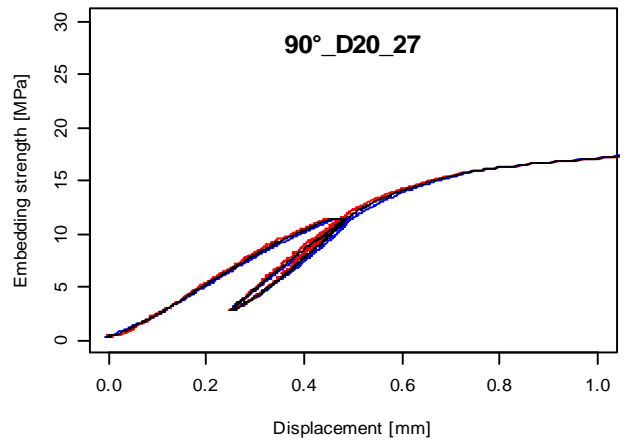
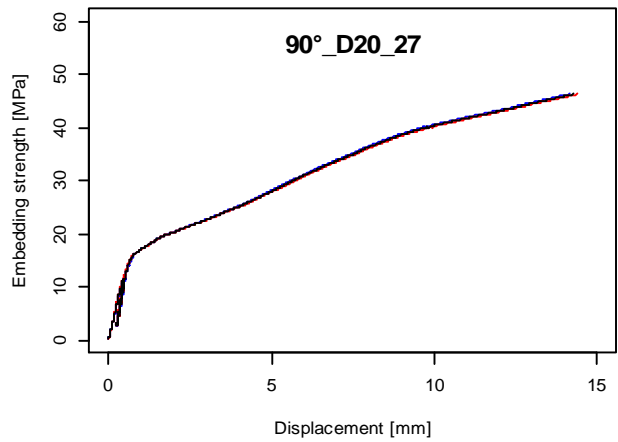
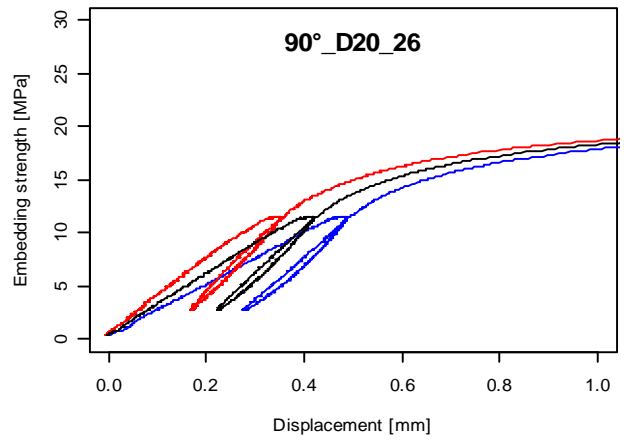
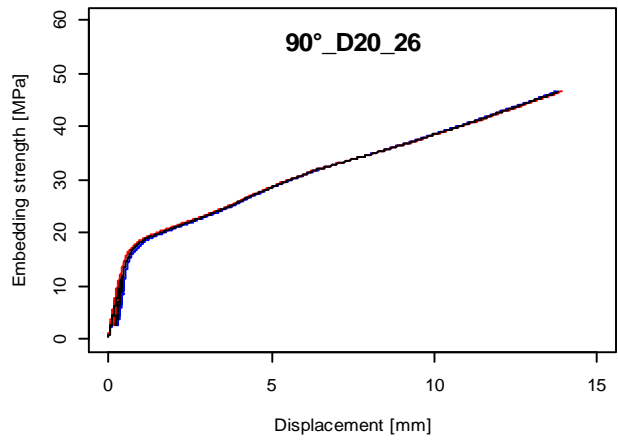
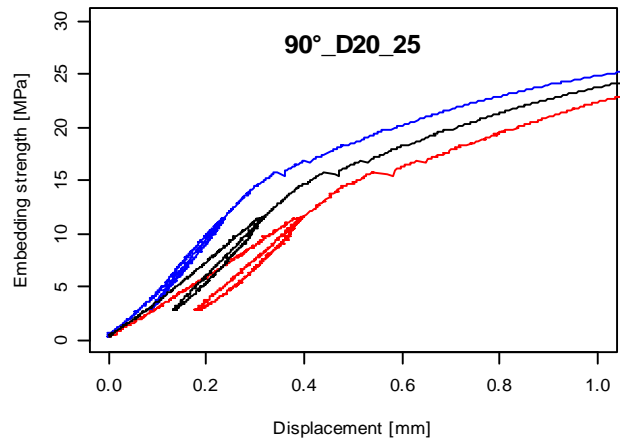
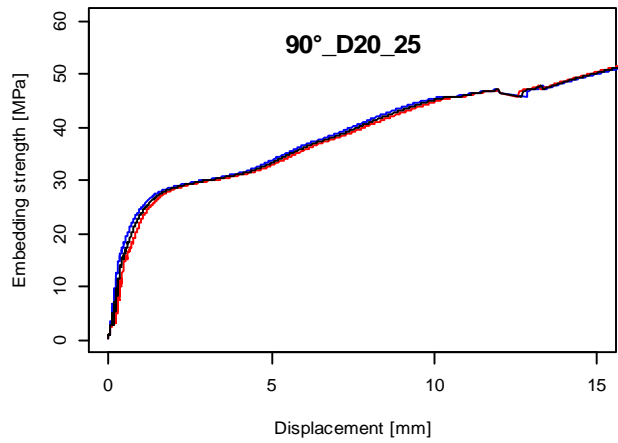


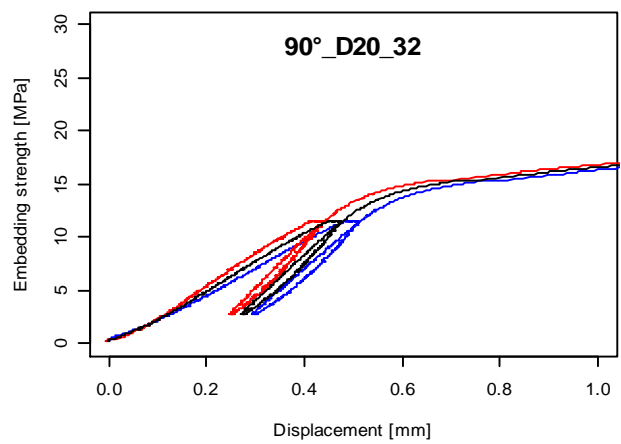
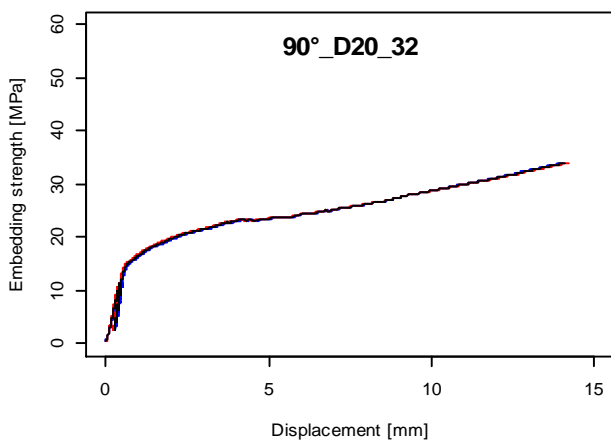
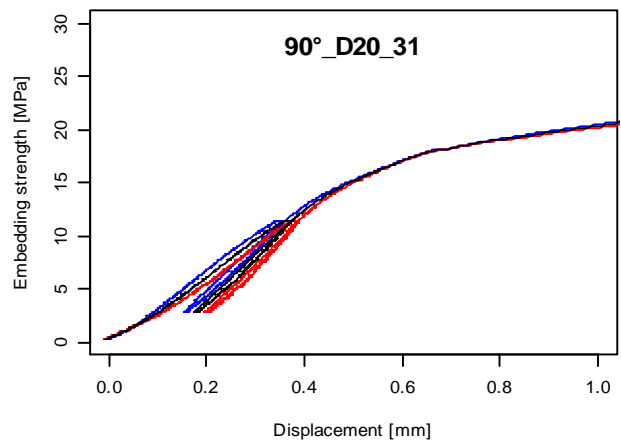
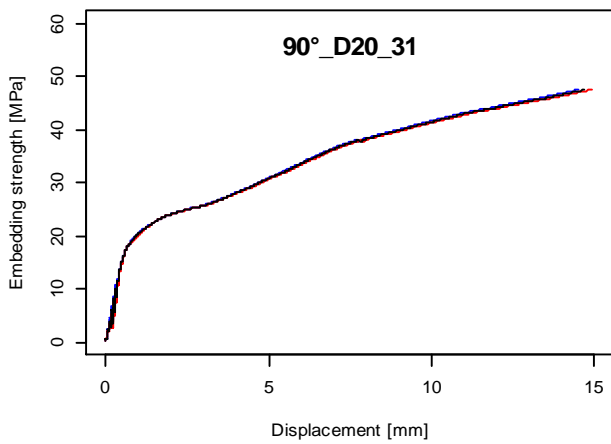
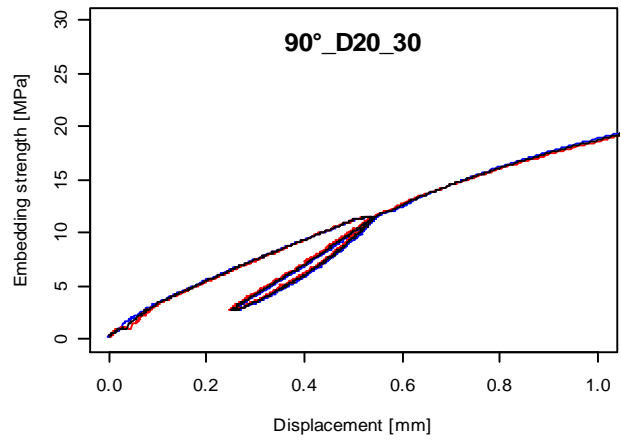
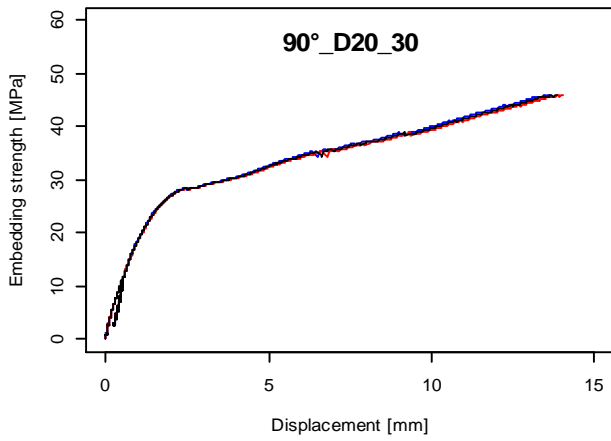
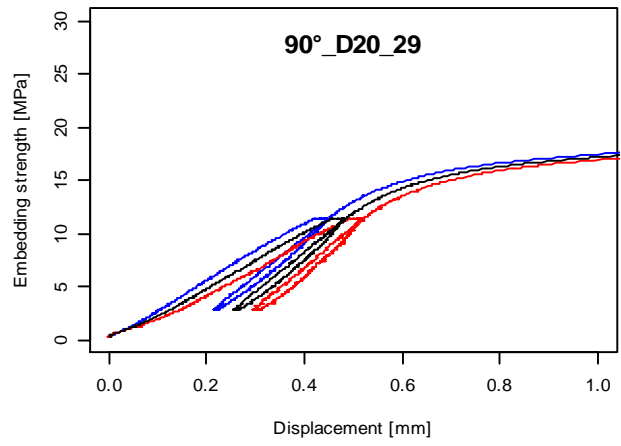
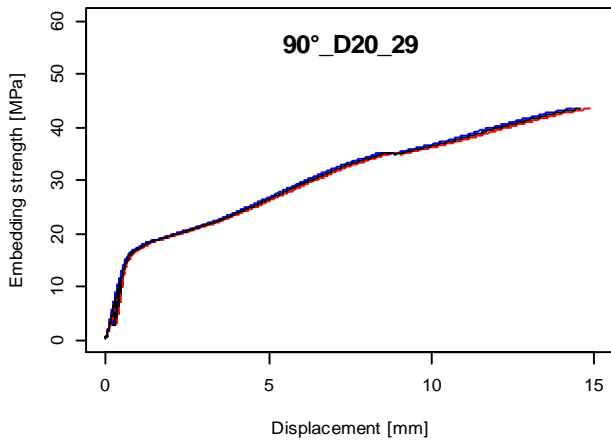


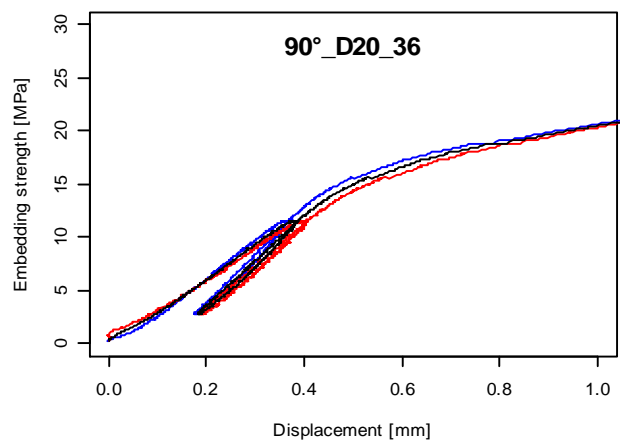
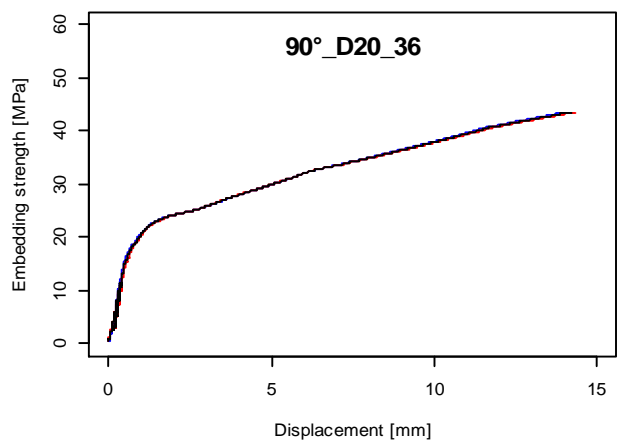
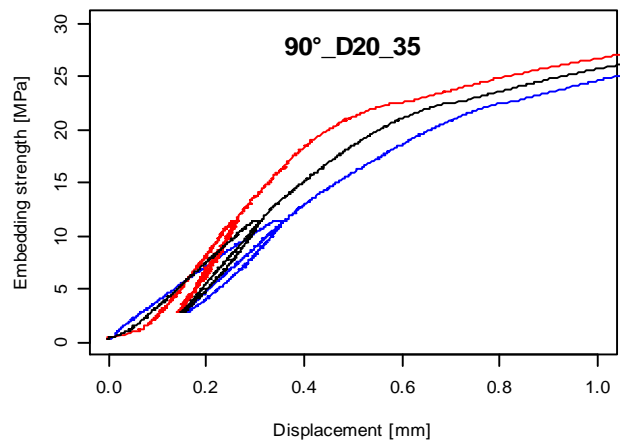
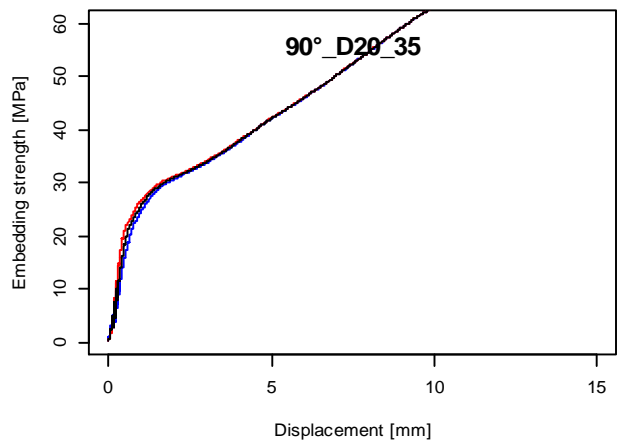
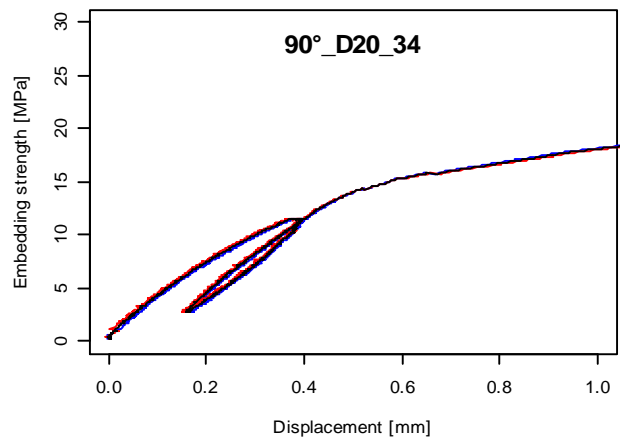
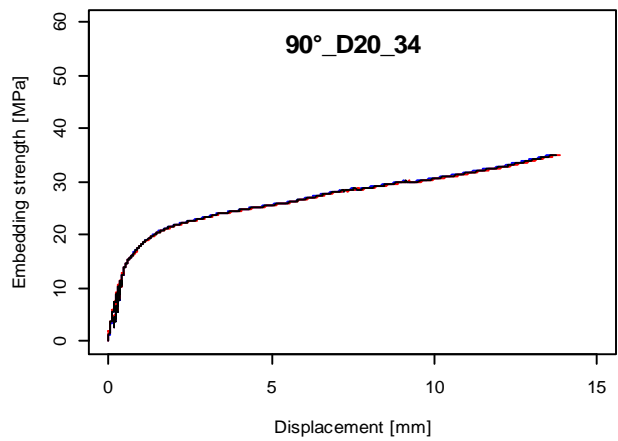
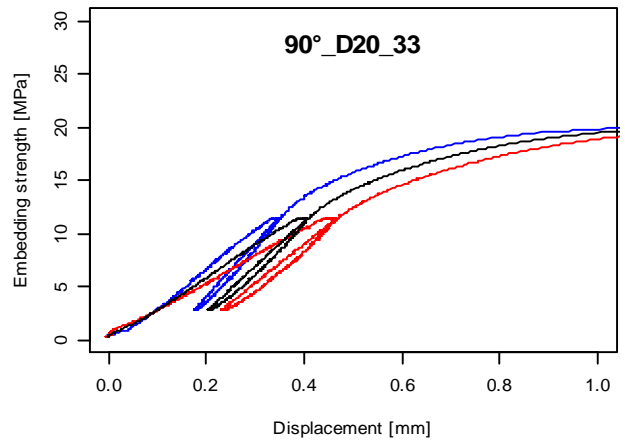
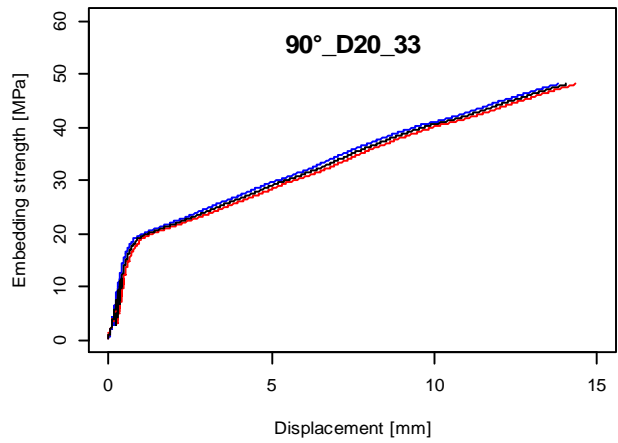


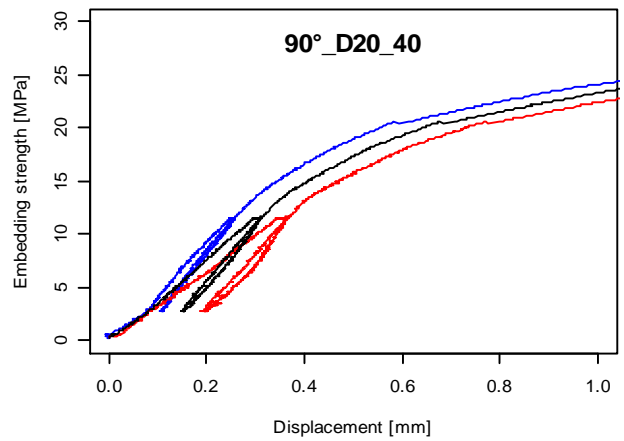
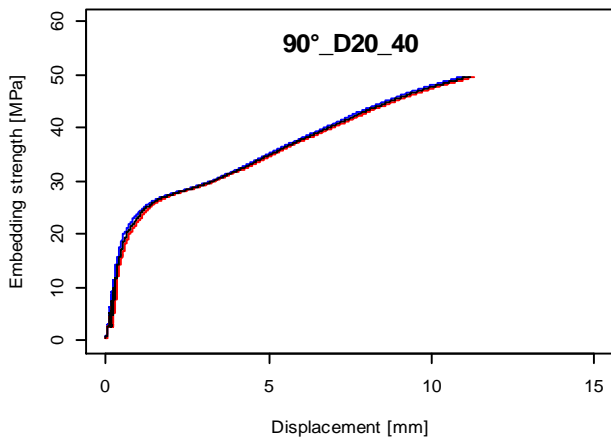
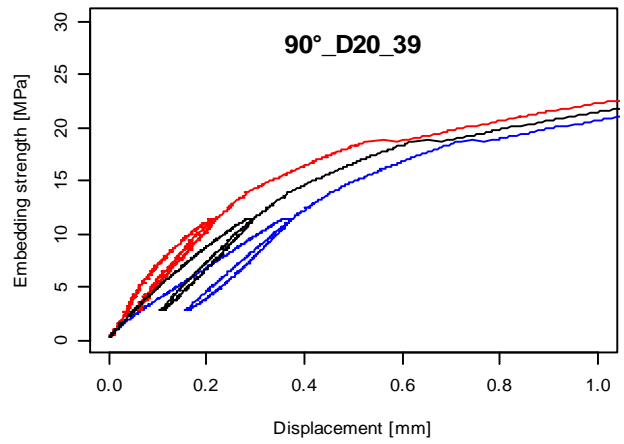
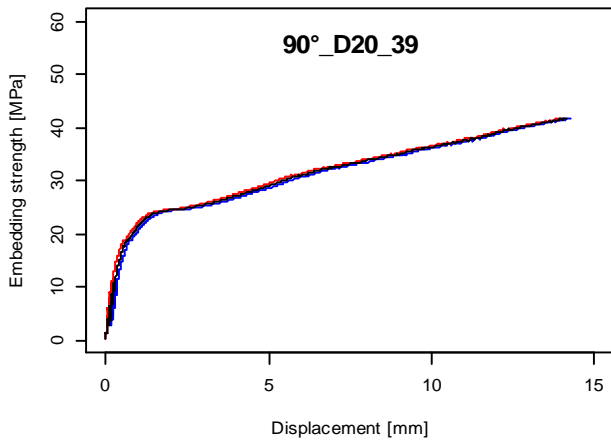
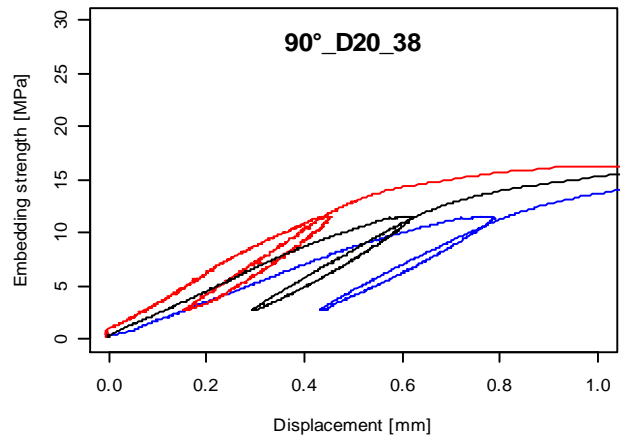
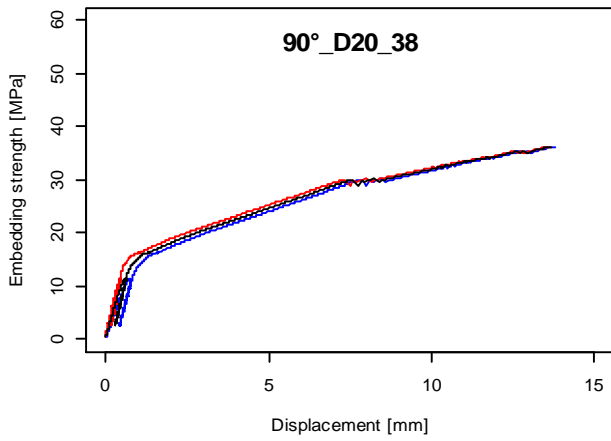
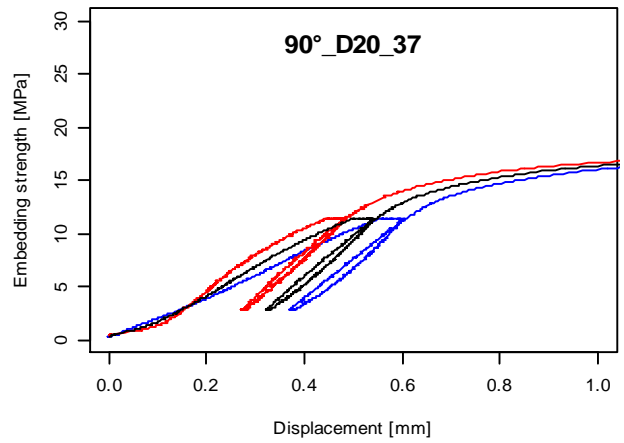
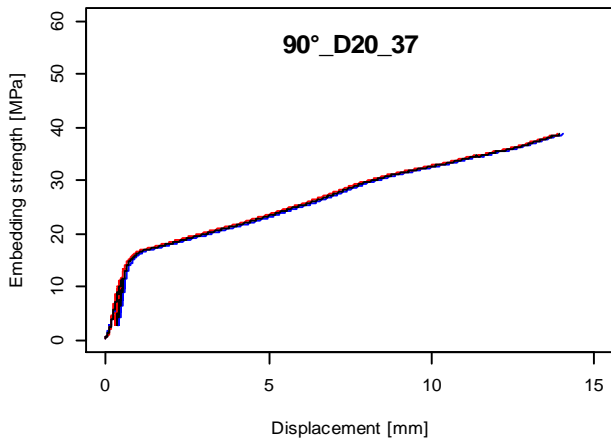


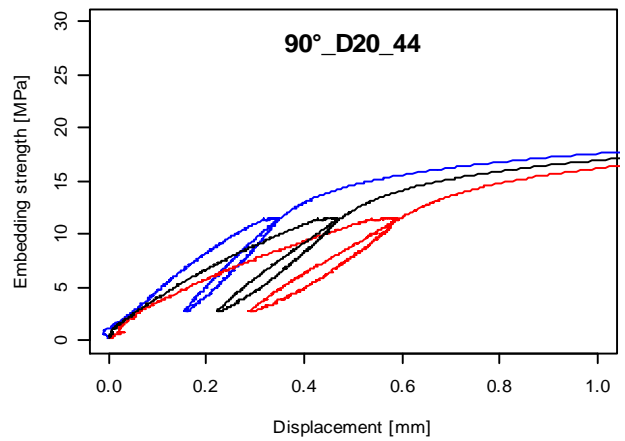
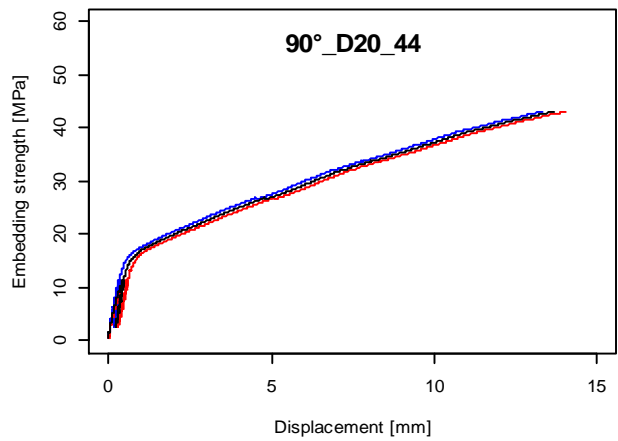
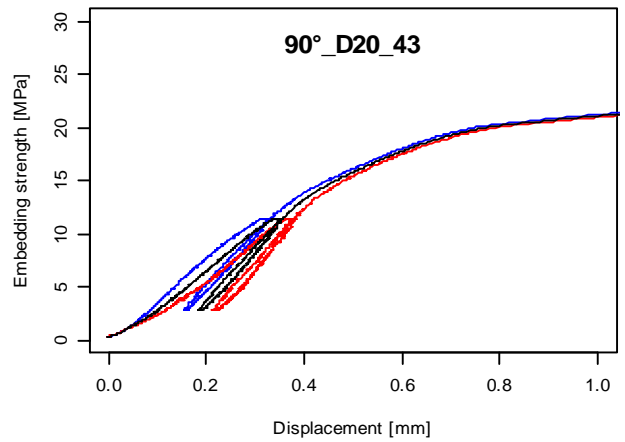
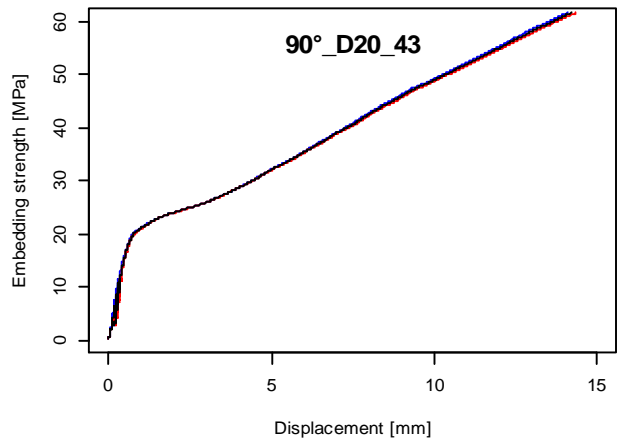
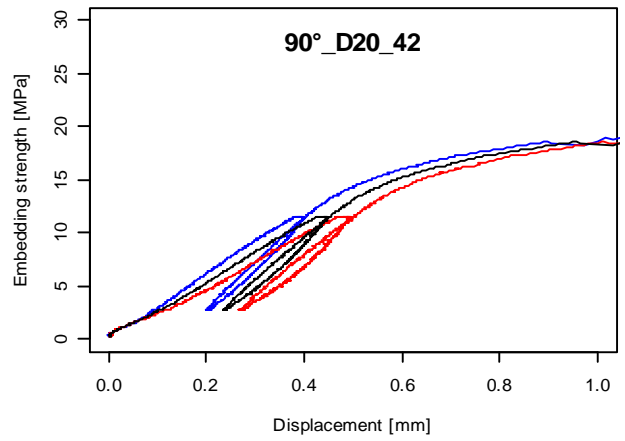
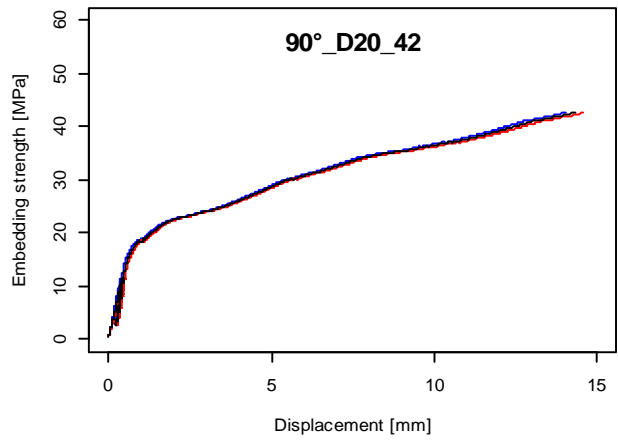
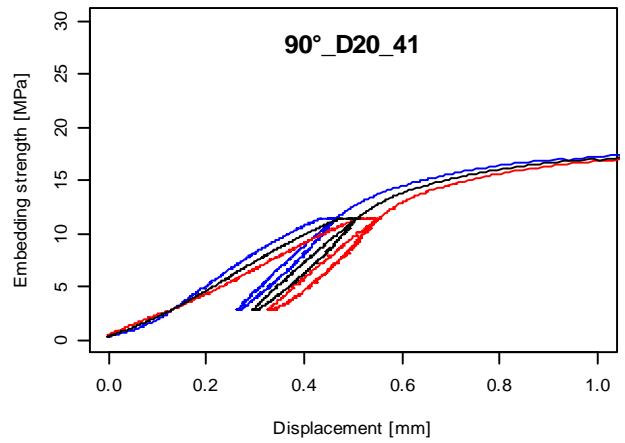
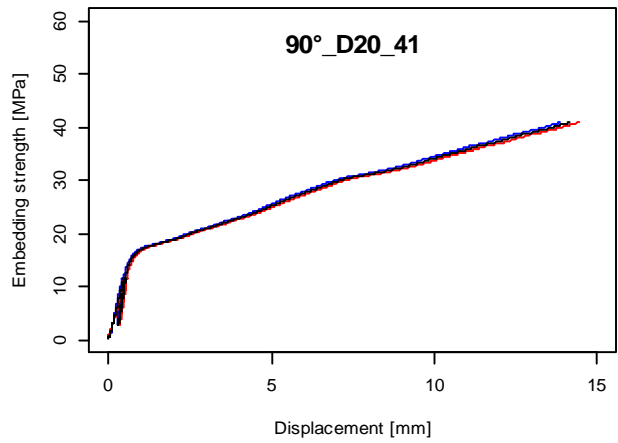


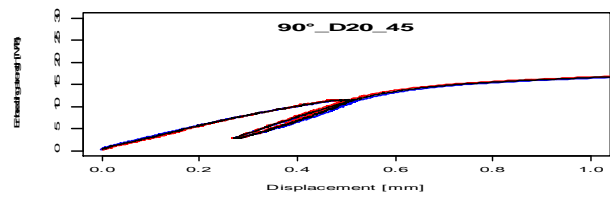
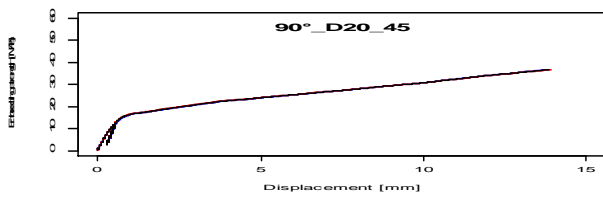












2.7 Tableau de synthèse des résultats

Test No.	MC	t	$\rho_{12\%}$	$f_{h,5,mm}$	$K_{el,1}$	$K_{el,2}$	$I_{d,1}$	K_{pl}	$f_{h,inter}$
	[%]	[mm]	[kg/m ³]	[N/mm ²]	[N/mm ³]	[N/mm ³]	[mm]	[N/mm ³]	[N/mm ²]
12_0_01	10,18%	30	570,3	45,95	47,02	154,79	0,03	-0,004	46,09
12_0_02	11,13%	30	631,2	56,90	76,07	136,89	0,02	-1,728	62,16
12_0_03	9,96%	30	572,1	42,89	35,79	139,58	0,07	-0,091	43,22
12_0_04	9,54%	30	619,6	57,67	89,32	168,47	0,03	-0,044	58,36
12_0_05	9,32%	30	549,9	46,86	50,08	155,46	0,07	0,036	46,63
12_0_06	9,93%	30	611,4	54,07	87,80	159,69	0,04	-0,055	54,28
12_0_07	9,27%	30	584,2	56,30	103,51	153,26	0,02	-0,471	58,78
12_0_08	10,25%	30	638,5	49,19	48,14	96,05	-0,11	0,216	47,58
12_0_09	11,35%	30	640,9	49,84	72,53	116,18	0,01	-0,372	51,57
12_0_10	10,20%	30	625,8	58,44	96,34	180,45	0,03	0,130	55,98
12_0_11	10,02%	30	585,0	55,42	74,20	137,34	0,03	-0,849	59,55
12_0_12	10,49%	30	684,6	74,00	114,90	216,76	0,03	-0,708	77,24
12_0_13	10,13%	30	621,3	49,28	75,64	129,07	0,04	-0,696	52,92
12_0_14	9,38%	30	550,8	59,24	78,55	153,62	0,03	-0,565	62,28
12_0_15	9,93%	30	578,3	48,08	58,56	143,23	0,02	-0,689	52,06
12_0_16	11,10%	30	612,6	37,01	33,92	100,77	0,15	-0,368	38,61
12_0_17	10,31%	30	597,5	53,64	71,96	136,03	0,03	-0,041	54,93
12_0_18	10,02%	30	600,1	57,80	95,74	145,70	0,02	-1,052	62,80
12_0_19	9,89%	30	562,8	37,98	32,29	158,52	0,20	-0,349	39,62
12_0_20	10,20%	30	614,1	60,23	63,16	138,18	0,03	-0,435	59,41
12_0_21	10,49%	30	608,6	55,16	100,84	191,04	0,00	-0,852	59,31
12_0_22	10,47%	30	601,6	54,28	68,84	167,88	0,06	-0,302	55,86
12_0_23	9,98%	30	585,3	54,27	52,22	153,82	0,10	0,047	53,75
12_0_24	10,29%	30	644,2	65,38	105,72	191,69	0,03	-0,489	68,20
12_0_25	9,96%	30	623,6	59,26	66,07	158,69	0,06	0,173	58,10

12_0_26	10,29%	30	603,7	55,81	55,55	143,44	0,16	0,182	53,76
12_0_27	9,96%	30	605,2	57,73	89,83	187,24	0,03	-0,083	56,41
12_0_28	10,11%	30	617,5	58,17	83,81	179,04	0,04	-0,156	58,86
12_0_29	10,35%	30	619,5	64,94	100,46	169,16	0,03	-0,489	67,72
12_0_30	10,49%	30	558,3	55,85	70,05	175,57	0,06	-0,744	59,47
12_0_31	10,04%	30	580,2	52,50	83,81	194,57	0,02	0,200	51,97
12_0_32	10,18%	30	568,6	42,68	60,10	148,54	0,08	-0,228	43,40
12_0_33	10,15%	30	622,4	60,00	130,02	211,29	0,01	-0,152	60,65
12_0_34	9,53%	30	579,0	58,37	73,47	164,93	0,06	-0,445	59,74
12_0_35	10,27%	30	661,4	63,78	142,98	212,87	0,01	-0,105	62,95
12_0_36	9,84%	30	600,8	61,19	90,55	204,81	0,05	-0,063	61,69
12_0_37	10,00%	30	554,3	51,86	47,65	141,60	0,12	-0,787	55,70
12_0_38	10,65%	30	602,9	56,02	85,50	167,96	0,02	-1,376	61,33
12_0_39	9,66%	30	585,4	50,33	60,26	151,53	0,10	-1,107	55,07
12_0_40	9,70%	30	591,4	56,06	84,41	160,65	0,04	-0,195	56,91
12_0_41	9,77%	30	563,3	53,34	94,94	162,98	0,03	-0,212	53,86
12_0_42	9,43%	30	577,8	51,98	64,27	189,64	0,06	-1,333	56,74
12_0_43	9,95%	30	634,9	57,38	98,51	186,19	0,03	-0,241	58,66
12_0_44	9,94%	30	604,9	51,85	65,06	141,85	0,08	-0,526	54,11
12_0_45	10,08%	30	583,6	54,89	51,31	177,58	0,09	0,458	52,60
16_0_01	9,35%	35	556,8	53,76	81,72	170,11	0,05	-0,090	52,99
16_0_02	10,36%	35	639,6	47,27	50,14	131,63	0,08	-1,203	53,09
16_0_03	9,44%	35	569,3	45,90	60,94	170,00	0,07	0,270	44,94
16_0_04	9,36%	35	621,9	57,50	101,23	163,28	0,01	-0,358	59,35
16_0_05	9,20%	35	573,9	50,76	66,15	157,68	0,07	-0,321	52,91
16_0_06	9,39%	35	623,3	47,90	66,75	139,50	0,08	-0,273	48,53
16_0_07	9,13%	35	598,0	55,64	119,45	203,08	0,02	-0,596	58,58
16_0_08	9,83%	35	647,0	61,65	83,98	158,85	0,03	-0,412	63,98
16_0_09	10,52%	35	671,5	39,44	36,85	91,15	0,13	-0,439	41,44
16_0_10	9,59%	35	659,4	56,79	95,77	153,81	0,03	-0,281	57,43
16_0_11	9,48%	35	582,3	56,12	83,58	149,47	0,07	0,297	55,66
16_0_12	9,69%	35	678,3	69,83	105,24	204,61	0,04	-0,512	71,38
16_0_13	9,42%	35	628,2	47,63	89,09	155,38	0,03	-0,354	49,75
16_0_14	9,25%	35	552,8	54,99	74,30	167,28	0,05	-0,678	58,82
16_0_15	9,36%	35	582,5	49,40	97,22	175,16	0,04	-0,414	51,63
16_0_16	10,14%	35	617,1	44,40	67,20	135,61	0,05	-0,444	46,97
16_0_17	9,62%	35	588,1	58,76	107,59	182,82	0,03	-0,102	59,41
16_0_18	9,16%	35	596,8	50,36	61,64	145,29	0,07	-0,570	52,99
16_0_19	9,09%	35	557,9	47,69	64,50	138,88	0,07	0,496	45,87
16_0_20	9,54%	35	620,2	66,31	132,79	217,49	0,02	-1,285	72,00
16_0_21	9,74%	35	613,8	58,55	119,94	163,91	0,01	-0,302	60,19
16_0_22	9,61%	35	607,9	53,84	94,84	162,02	0,03	-0,026	53,67
16_0_23	9,75%	35	585,0	47,06	57,83	160,46	0,07	-0,326	48,55
16_0_24	9,45%	35	625,8	59,66	111,44	165,71	0,02	-0,529	62,66
16_0_25	9,56%	35	629,4	62,01	93,97	181,35	0,04	-0,062	62,40
16_0_26	9,45%	35	591,9	55,77	98,40	177,53	0,04	0,064	54,39

16_0_27	9,36%	35	599,3	52,13	76,20	142,21	0,04	-0,622	55,68
16_0_28	9,84%	35	600,8	57,60	90,90	142,24	0,03	-0,387	59,69
16_0_29	9,69%	35	619,1	63,83	117,78	165,91	0,01	-0,799	66,10
16_0_30	9,24%	35	561,2	57,55	71,19	138,02	0,05	-0,188	58,52
16_0_31	9,32%	35	598,7	53,58	76,68	135,60	0,04	0,157	53,13
16_0_32	9,75%	35	583,6	47,76	58,69	128,41	0,04	-0,547	49,27
16_0_33	9,26%	35	620,7	64,09	102,66	177,22	0,03	-0,191	64,39
16_0_34	9,30%	35	567,1	53,23	60,10	132,50	0,06	0,265	51,22
16_0_35	9,66%	35	655,1	65,64	121,99	194,11	0,01	-0,759	69,62
16_0_36	9,69%	35	602,3	58,34	100,44	147,85	0,01	-0,515	61,70
16_0_37	9,22%	35	572,8	50,11	95,15	163,53	0,02	0,011	50,32
16_0_38	10,01%	35	609,4	55,07	82,20	142,26	0,02	-1,246	62,33
16_0_39	9,20%	35	574,7	48,64	62,53	146,96	0,07	-0,829	53,30
16_0_40	9,61%	35	602,9	58,11	90,16	134,56	0,03	-0,028	58,13
16_0_41	9,08%	35	555,3	51,58	76,96	131,48	0,07	-0,037	49,84
16_0_42	9,24%	35	575,6	43,45	55,30	138,61	0,09	-0,618	46,38
16_0_43	9,51%	35	655,1	64,55	99,16	149,56	0,03	-0,306	65,94
16_0_44	9,38%	35	621,9	57,03	72,53	138,87	0,06	-0,188	57,67
16_0_45	9,64%	35	603,4	55,78	97,79	153,90	0,03	-0,065	56,51

20_0_01	9,98%	35	567,1	42,20	49,83	265,83	-0,07	0,065	40,85
20_0_02	10,39%	35	645,7	39,77	45,00	94,17	-0,01	-0,110	40,28
20_0_03	9,91%	35	591,2	40,93	99,90	179,99	-0,01	-0,458	43,16
20_0_04	9,72%	35	607,1	50,06	46,89	132,38	0,03	-0,584	52,79
20_0_05	9,71%	35	541,6	34,45	34,80	113,08	0,01	0,291	33,50
20_0_06	9,53%	35	621,6	44,30	54,08	131,45	0,03	0,050	44,59
20_0_07	9,69%	35	582,8	47,64	55,76	128,43	0,02	-0,006	48,08
20_0_08	10,12%	35	655,7	57,70	70,96	138,89	-0,01	-0,196	58,84
20_0_09	11,06%	35	619,4	35,93	24,88	94,34	-0,03	0,037	35,85
20_0_10	9,77%	35	624,8	55,53	70,51	128,05	-0,01	-0,412	57,10
20_0_11	9,58%	35	582,3	48,38	35,68	132,80	-0,04	-0,182	49,60
20_0_12	10,02%	35	697,3	67,18	50,40	134,07	0,03	-0,508	69,95
20_0_13	9,76%	35	603,3	42,76	29,96	127,55	0,01	-0,005	42,60
20_0_14	9,77%	35	553,8	51,61	51,06	145,40	-0,08	0,288	50,81
20_0_15	9,50%	35	566,8	43,20	75,86	137,76	-0,05	-0,578	46,12
20_0_16	11,07%	35	639,4	35,06	76,39	118,30	0,01	0,358	33,92
20_0_17	10,16%	35	587,7	47,45	38,59	122,35	-0,04	0,772	44,45
20_0_18	9,28%	35	600,9	47,51	39,19	131,35	-0,02	0,990	44,35
20_0_19	9,20%	35	572,9	47,55	31,12	141,65	0,07	0,114	47,57
20_0_20	9,86%	35	620,8	54,99	73,96	163,65	0,01	0,852	52,16
20_0_21	10,02%	35	627,0	54,50	57,02	140,62	0,04	0,231	53,34
20_0_22	9,78%	35	593,8	52,18	71,45	170,58	-0,03	-0,001	52,72
20_0_23	10,63%	35	609,3	53,84	38,01	247,92	0,00	0,624	51,62
20_0_24	9,75%	35	608,3	60,45	48,40	112,49	0,01	-0,220	61,18
20_0_25	9,72%	35	609,6	59,86	83,62	153,22	0,01	-0,132	60,09
20_0_26	9,44%	35	610,5	57,01	46,83	134,37	0,03	0,061	57,84
20_0_27	9,39%	35	577,7	52,18	59,37	134,06	0,02	-0,213	53,17

20_0_28	9,96%	35	579,6	51,23	50,31	153,93	0,00	0,140	50,99
20_0_29	9,85%	35	594,6	49,37	38,81	122,50	0,02	-0,465	51,29
20_0_30	9,61%	35	563,4	55,31	42,91	124,24	0,04	-0,267	56,66
20_0_31	9,39%	35	588,0	58,65	51,55	141,68	0,02	-0,750	62,17
20_0_32	10,57%	35	560,9	41,65	34,55	110,33	0,04	-0,122	42,26
20_0_33	9,58%	35	611,0	59,00	51,45	142,54	0,02	-0,221	59,79
20_0_34	9,91%	35	576,3	47,68	52,29	141,08	0,01	0,393	46,19
20_0_35	10,05%	35	666,4	61,95	49,13	143,15	0,04	0,350	60,42
20_0_36	9,89%	35	621,0	54,13	53,37	144,99	-0,01	-0,047	54,90
20_0_37	9,89%	35	563,5	45,81	40,12	148,69	0,00	-0,189	46,90
20_0_38	10,56%	35	603,9	46,98	56,74	98,69	-0,07	NA	NA
20_0_39	9,22%	35	572,8	40,36	36,27	142,88	0,04	-0,095	40,63
20_0_40	9,55%	35	576,6	52,96	48,68	146,12	-0,05	0,100	52,37
20_0_41	9,47%	35	596,2	54,90	70,15	162,64	-0,04	0,198	54,50
20_0_42	9,55%	35	576,0	39,95	40,58	157,21	0,00	-0,317	41,26
20_0_43	10,01%	35	650,0	54,43	43,85	124,44	0,03	-0,038	54,67
20_0_44	9,79%	35	626,6	57,45	76,28	183,92	0,03	-0,086	57,83
20_0_45	9,53%	35	582,4	45,06	33,81	128,03	0,06	0,016	43,90

12_90_01	10,28%	30	596,9	33,53	45,37	62,15	0,03	2,414	22,42
12_90_02	10,79%	30	658,4	34,85	37,74	50,17	0,02	4,710	10,20
12_90_03	10,01%	30	588,0	33,61	53,99	77,61	0,02	4,212	12,62
12_90_04	10,30%	30	627,7	46,76	69,56	87,22	0,04	3,960	28,31
12_90_05	10,02%	30	584,0	34,47	32,92	50,67	0,06	2,429	24,35
12_90_06	9,93%	30	652,5	45,08	61,23	72,28	0,01	3,275	32,94
12_90_07	9,97%	30	600,6	38,10	49,46	59,43	0,02	2,970	26,39
12_90_08	10,98%	30	655,1	43,66	52,02	68,03	0,00	2,873	30,86
12_90_09	10,44%	30	644,4	42,04	50,93	71,55	0,03	3,336	27,96
12_90_10	10,77%	30	634,9	29,35	33,22	43,20	0,05	3,007	15,81
12_90_11	10,21%	30	599,3	37,36	31,16	48,45	0,07	2,420	27,35
12_90_12	10,48%	30	687,4	50,08	73,62	81,21	0,01	3,785	34,90
12_90_13	10,18%	30	632,2	48,89	59,21	81,87	0,01	4,576	28,39
12_90_14	10,02%	30	558,2	33,92	33,38	48,28	0,07	2,570	23,25
12_90_15	9,32%	30	577,3	42,24	68,41	88,51	0,02	3,490	25,46
12_90_16	10,96%	30	632,2	28,06	45,07	63,11	0,04	3,659	10,42
12_90_17	10,38%	30	603,9	46,80	65,08	78,93	0,02	3,801	30,05
12_90_18	9,27%	30	613,9	37,57	60,24	71,93	0,03	3,065	22,99
12_90_19	9,81%	30	592,9	38,91	37,73	48,02	0,06	3,740	22,36
12_90_20	10,29%	30	633,6	48,33	58,85	73,38	0,02	3,123	34,10
12_90_21	10,37%	30	641,3	38,15	31,16	43,66	0,05	3,684	23,48
12_90_22	10,46%	30	614,2	37,13	57,86	69,99	0,03	3,413	21,58
12_90_23	10,27%	30	592,7	38,11	54,75	67,37	0,01	2,710	25,63
12_90_24	10,32%	30	628,4	38,66	55,31	64,46	0,04	2,719	26,30
12_90_25	10,37%	30	618,2	39,61	55,12	71,94	0,03	3,255	25,20
12_90_26	9,83%	30	587,4	43,08	55,03	67,82	0,04	2,436	33,14
12_90_27	10,20%	30	613,0	37,11	52,83	61,60	0,03	3,404	20,55
12_90_28	10,47%	30	604,8	39,28	38,85	51,35	0,05	3,264	26,69

12_90_29	10,45%	30	631,2	37,05	46,20	61,71	0,04	2,704	25,46
12_90_30	10,31%	30	561,1	32,51	54,02	61,75	0,03	2,565	20,39
12_90_31	10,02%	30	562,0	32,48	33,45	51,84	0,06	2,998	18,10
12_90_32	10,89%	30	567,1	34,25	34,22	46,42	0,05	2,531	22,91
12_90_33	10,04%	30	632,2	43,89	38,83	52,14	0,05	2,991	34,57
12_90_34	9,78%	30	578,2	35,55	54,67	70,64	0,04	1,798	28,19
12_90_35	10,11%	30	654,7	42,01	49,22	60,99	0,03	3,277	30,85
12_90_36	10,36%	30	604,5	35,46	47,75	62,73	0,03	2,347	25,65
12_90_37	10,27%	30	568,8	32,20	48,65	53,20	0,19	1,403	24,96
12_90_38	10,25%	30	609,4	34,03	26,79	32,68	0,22	3,144	20,20
12_90_39	9,55%	30	582,1	37,59	39,73	54,05	0,00	2,244	28,81
12_90_40	9,83%	30	588,6	38,65	46,33	61,12	0,04	3,071	27,24
12_90_41	9,84%	30	592,2	39,41	46,29	64,29	0,04	3,023	25,49
12_90_42	9,49%	30	580,4	32,18	38,02	54,81	0,06	2,323	22,22
12_90_43	10,12%	30	656,0	44,88	72,28	89,58	0,02	3,832	27,40
12_90_44	10,11%	30	630,1	38,16	63,64	74,26	0,01	2,964	24,01
12_90_45	9,99%	30	592,4	43,50	45,64	73,76	0,03	2,566	32,20
16_90_01	10,12%	35	578,4	37,23	59,40	70,02	0,01	2,082	28,84
16_90_02	10,94%	35	645,5	29,85	36,43	43,69	0,04	1,806	21,46
16_90_03	10,08%	35	592,2	25,80	44,85	56,28	0,05	1,814	17,44
16_90_04	10,38%	35	607,2	30,59	55,42	65,72	0,04	2,178	20,82
16_90_05	9,83%	35	585,3	30,55	52,50	61,02	0,01	2,050	21,51
16_90_06	10,13%	35	633,2	32,91	47,19	57,86	0,04	2,492	22,34
16_90_07	9,70%	35	575,6	30,38	47,08	58,20	0,04	2,042	20,66
16_90_08	10,79%	35	663,8	27,70	22,66	29,42	0,10	3,753	15,55
16_90_09	11,26%	35	634,2	25,31	33,08	39,76	0,06	1,956	14,89
16_90_10	9,85%	35	650,3	49,40	84,65	91,70	0,00	2,801	38,21
16_90_11	9,98%	35	586,1	28,28	31,18	46,91	0,07	1,977	19,03
16_90_12	10,23%	35	665,5	38,11	65,14	75,24	0,01	3,079	24,54
16_90_13	9,89%	35	632,4	30,59	41,50	49,52	0,05	2,651	19,23
16_90_14	10,15%	35	555,0	31,81	48,78	57,40	0,02	1,920	24,62
16_90_15	10,29%	35	579,6	31,88	59,78	71,33	0,01	1,850	22,85
16_90_16	11,24%	35	666,4	29,94	63,75	73,33	0,01	2,520	17,28
16_90_17	10,39%	35	610,6	31,37	49,74	61,54	0,01	2,649	20,58
16_90_18	8,91%	35	625,1	40,93	67,90	73,86	0,01	2,288	31,26
16_90_19	9,84%	35	579,1	31,28	33,88	46,06	0,07	2,616	18,20
16_90_20	10,41%	35	617,0	34,54	48,20	57,29	0,03	2,981	21,86
16_90_21	10,43%	35	631,6	35,91	65,74	73,11	0,01	2,161	26,17
16_90_22	10,42%	35	621,2	38,51	63,95	71,42	0,00	1,542	32,72
16_90_23	10,20%	35	596,4	24,41	26,53	42,88	0,09	1,618	17,05
16_90_24	10,53%	35	619,9	33,17	40,81	46,53	0,04	2,779	21,18
16_90_25	10,25%	35	610,2	49,49	63,37	72,36	0,01	3,038	37,51
16_90_26	9,67%	35	609,1	34,19	43,73	59,34	0,05	2,208	24,09
16_90_27	9,79%	35	588,7	30,86	46,64	54,46	0,04	2,223	21,66
16_90_28	10,04%	35	590,0	30,60	31,59	41,17	0,07	2,121	22,45
16_90_29	10,19%	35	598,6	31,33	53,41	62,25	0,02	2,250	20,82

16_90_30	9,96%	35	559,4	29,30	29,41	39,80	0,07	1,585	22,76
16_90_31	9,98%	35	583,7	29,61	35,85	46,66	0,04	2,258	19,26
16_90_32	10,65%	35	559,5	27,04	35,98	47,34	0,05	1,443	20,67
16_90_33	9,91%	35	620,4	35,26	35,58	46,72	0,05	2,424	26,60
16_90_34	10,43%	35	586,6	29,15	31,01	43,62	0,06	2,030	20,61
16_90_35	10,33%	35	675,3	48,26	80,98	91,87	0,00	2,385	39,01
16_90_36	10,25%	35	624,0	32,37	42,74	53,18	0,02	4,077	9,05
16_90_37	10,49%	35	576,0	29,47	37,35	46,28	0,03	2,131	20,41
16_90_38	11,01%	35	591,8	26,70	18,41	23,51	0,11	2,136	17,93
16_90_39	9,71%	35	573,7	27,45	35,77	46,11	0,06	1,740	19,50
16_90_40	9,93%	35	590,1	36,50	44,12	55,11	0,04	2,891	25,05
16_90_41	9,62%	35	579,2	31,87	53,22	64,37	0,02	2,262	21,82
16_90_42	9,97%	35	583,8	28,86	37,92	41,39	0,04	2,009	20,11
16_90_43	9,97%	35	712,4	42,32	71,38	85,78	0,01	3,877	23,52
16_90_44	9,84%	35	625,9	33,94	56,68	65,06	0,02	2,429	23,29
16_90_45	10,47%	35	601,0	37,56	42,22	53,93	0,05	2,833	26,03
20_90_01	9,88%	35	568,2	25,81	29,91	40,90	0,00	1,643	18,91
20_90_02	11,19%	35	649,2	25,69	26,02	33,40	0,00	2,572	14,27
20_90_03	9,73%	35	583,6	26,27	26,57	45,41	-0,02	2,563	14,43
20_90_04	10,24%	35	615,8	27,44	29,67	40,38	0,01	2,014	18,71
20_90_05	9,56%	35	554,7	26,80	27,75	40,70	-0,01	1,164	23,07
20_90_06	9,71%	35	642,5	29,98	32,96	43,08	0,05	2,437	20,23
20_90_07	9,93%	35	579,0	28,84	27,82	41,95	0,01	1,913	22,43
20_90_08	10,18%	35	649,2	33,66	40,87	47,99	0,00	2,221	24,03
20_90_09	10,87%	35	637,5	28,25	26,46	34,78	0,00	1,082	24,43
20_90_10	10,14%	35	620,3	31,40	34,31	46,37	0,00	1,770	24,04
20_90_11	9,82%	35	593,0	26,17	23,12	33,18	0,05	1,557	20,10
20_90_12	10,14%	35	697,7	40,32	39,11	47,39	0,03	2,545	31,26
20_90_13	9,83%	35	636,4	26,91	27,60	39,83	0,00	1,691	19,63
20_90_14	10,06%	35	552,6	26,00	27,95	38,88	0,00	1,506	20,44
20_90_15	10,27%	35	569,4	25,39	26,26	41,60	0,01	1,407	19,95
20_90_16	11,22%	35	629,2	33,46	31,62	44,58	-0,03	1,117	30,43
20_90_17	10,18%	35	618,8	33,66	43,50	52,15	0,01	3,393	16,31
20_90_18	9,55%	35	593,9	28,18	27,04	38,20	0,02	1,852	21,60
20_90_19	9,49%	35	588,4	26,16	24,76	38,32	0,00	1,558	20,06
20_90_20	9,88%	35	618,0	29,55	28,34	44,99	0,03	1,606	24,59
20_90_21	10,10%	35	631,6	27,00	28,17	38,86	-0,03	2,183	16,37
20_90_22	9,68%	35	595,9	28,66	24,89	38,70	0,00	1,779	22,67
20_90_23	10,16%	35	598,2	27,22	24,21	36,11	-0,01	1,330	22,35
20_90_24	10,11%	35	621,2	31,25	34,61	43,48	0,03	1,681	23,98
20_90_25	10,07%	35	600,2	33,32	38,02	46,88	-0,01	1,569	28,78
20_90_26	9,54%	35	624,7	28,55	28,24	42,87	0,02	1,976	20,31
20_90_27	9,43%	35	600,7	28,06	26,46	36,64	0,00	1,965	21,42
20_90_28	10,34%	35	596,9	27,52	31,04	41,64	-0,02	2,669	14,80
20_90_29	9,81%	35	600,2	26,54	26,53	37,27	-0,02	1,706	20,78
20_90_30	10,00%	35	577,2	32,53	19,66	29,34	0,08	1,493	27,09

20_90_31	9,82%	35	601,9	30,88	34,51	43,61	-0,02	1,672	25,37
20_90_32	10,17%	35	567,5	23,57	27,58	42,62	-0,02	1,200	17,60
20_90_33	9,89%	35	611,2	29,05	30,68	42,33	-0,01	2,111	20,46
20_90_34	10,05%	35	578,9	25,56	28,44	35,98	0,06	1,019	21,38
20_90_35	9,66%	35	677,5	42,19	41,91	53,18	-0,02	3,737	26,97
20_90_36	9,84%	35	613,7	29,92	32,82	42,07	-0,02	1,481	24,15
20_90_37	10,11%	35	567,9	23,38	25,66	38,61	-0,03	1,646	17,05
20_90_38	10,14%	35	608,0	24,69	19,82	26,24	0,03	1,258	20,67
20_90_39	9,54%	35	573,0	29,05	37,80	45,82	0,03	1,341	23,76
20_90_40	9,71%	35	584,3	34,85	41,12	54,33	-0,02	2,476	24,51
20_90_41	9,84%	35	585,4	25,26	26,18	40,47	-0,02	1,632	19,10
20_90_42	9,83%	35	587,2	28,68	28,45	40,05	-0,01	1,415	23,61
20_90_43	10,20%	35	677,2	32,14	37,62	50,33	-0,03	3,220	18,08
20_90_44	9,85%	35	622,7	26,97	23,82	34,28	0,07	1,877	19,67
20_90_45	9,99%	35	594,7	24,10	23,11	35,48	0,04	1,453	17,57

3 Bibliographie

- CEN European Committee for Standardization. (2002). EN 13183-1 : Moisture content of a piece of sawn timber - Part 1 : Determination by oven dry method.
- CEN European Committee for Standardization. (2004). Design of timber structures – Part 1-1: General and rules for buildings.
- CEN European Committee for Standardization. (2007). EN 383 : Timber structures - Test methods - Determination of embedment strength and foundation values for dowel type fasteners.
- CEN European Committee for Standardization. (2016). EN 14358 : Timber structures - Calculation and verification of characteristic values.
- CEN European Committee for Standardization. (2018). EN 384 : Structural timber - Determination of characteristic values of mechanical properties and density.
- EHLBECK, J., & WERNER, H. (1992). Softwood and Hardwood Embedding strength for dowel-type fasteners. *CIB-W18/25-07-2*.
- SANDHAAS, C., RAVENSHORST, G. J., BLASS, H. J., & VAN DE KUILEN, J. W. (2013). Embedment tests parallel-to-grain and ductility aspects using various wood species. *European Journal of Wood and Wood Products*, 71, 599-608.
- U. HUBNER, T. BOGENSPERGER, & G. SCHICKHOFER. (2008). Embedding Strength of European Hardwoods. *CIB-W18 / 41-07-5*.