

Manuel ThermoWood®



Préface

Le présent Manuel a été rédigé par les membres de l'Association Finlandaise Thermowood. En lançant sur divers marchés ses nouveaux produits et procédés, il est extrêmement important d'en fournir le plus d'information possible, ceci dans le but d'élever le niveau des connaissances et de les maintenir à ce niveau avec maximum d'efficacité. Nous espérons donc que ce Manuel servira de bonne source d'information pour concepteurs, utilisateurs finaux industriels, sociétés qui se spécialisent dans le domaine de l'industrie, marchands de bois, etc...

Le Manuel permet de constituer une combinaison rationnelle de matériaux théoriques, résultats d'investigations en laboratoires, données obtenues au cours d'essais sur le terrain et, finalement, recommandations pratiques concernant la manipulation du produit. Les résultats présentés ci-dessous ont été recueillis à partir d'un large éventail de sources dont la plupart sont celles provenant d'instituts de recherches ou universités, mais aussi, on a inclus l'expérience de fabricants industriels. Précisons néanmoins que tous les résultats et expériences mentionnés ne sont donnés ici qu'à titre informatif, pouvant être sujets à des modifications.

Un des objectifs de l'Association Finlandaise Thermowood consiste à assurer la mise à jour systématique de ce Manuel. En conséquence, dès l'apparition de nouveaux résultats ou données expérimentales, on va préparer de nouvelles publications précisant les domaines particuliers ainsi actualisés.

Le nom de ThermoWood est une marque de fabrique enregistrée, de sorte que seuls les membres de l'Association Finlandaise Thermowood ont le droit d'en jouir.

Nous espérons que les lecteurs du présent Manuel le trouveront non seulement informatif, mais aussi utile sur le plan pratique.

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 0	Titre.....	1 – 0
	Préface.....	2 – 0
	Contenu.....	3 – 0
CHAPITRE 1.	Introduction.....	1 – 1
	1.1. Arrière-plan.....	1 – 1
	1.2. Procédé ThermoWood en bref.....	1 – 1
	1.3. Changements de la structure du bois et réactions chimiques.....	3 – 1
	1.4. Classification standard de traitement du ThermoWood.....	4 – 1
	1.5. Liste des normes.....	6 – 1
CHAPITRE 2.	Matière première.....	1 – 2
	2.1. Facteurs influençant la qualité du bois ayant subi un traitement thermique.....	1 – 2
	2.1.1. Généralités.....	1 – 2
	2.1.2. Espèces de bois.....	1 – 2
	2.2. Qualité du bois scié.....	1 – 2
	2.2.1. Degrés de qualité des sciages du bois résineux nordique commun.....	1 – 2
	2.2.2. Nœuds.....	1 – 2
	2.2.3. Exigences minimales imposées à la matière première.....	2 – 2
	2.2.4. Humidité du bois.....	6 – 2
CHAPITRE 3.	Procédé ThermoWood.....	1 – 3
	3.1. Equipement.....	1 – 3
	3.2. Etapes du procédé.....	1 – 3
	3.3. Energie.....	2 – 3
	3.4. Problèmes liés à l'environnement.....	2 – 3
CHAPITRE 4.	Propriétés du ThermoWood.....	1 – 4
	4.1. Altérations chimiques.....	1 – 4
	4.1.1. Généralités.....	1 – 4
	4.1.2. Hydrocarbures.....	2 – 4
	4.1.3. Lignine.....	2 – 4
	4.1.4. Substances extractives.....	3 – 4
	4.1.5. Toxicité.....	3 – 4
	4.2. Changements de nature physique.....	4 – 4
	4.2.1. Densité.....	4 – 4
	4.2.2. Résistance.....	5 – 4
	4.2.3. Dureté.....	9 – 4
	4.2.4. Teneur en humidité équilibrée.....	10 – 4
	4.2.5. Gonflement et retrait dûs à l'humidité... ..	11 – 4
	4.2.6. Perméabilité.....	12 – 4
	4.2.7. Conductivité thermique.....	13 – 4
	4.2.8. Sécurité contre le feu.....	13 – 4
	4.2.9. Endurance biologique.....	17 – 4
	4.2.10. Résistance aux insectes.....	19 – 4

	4.2.11. Résistance aux intempéries.....	20 – 4
	4.2.12. Couleur.....	24 – 4
	4.2.13. Emissions.....	25 – 4
CHAPITRE 5.	Travail avec le ThermoWood en entreprises industrielles.....	1 – 5
	5.1. Généralités.....	1 – 5
	5.2. Sciage.....	1 – 5
	5.3. Rabotage.....	3 – 5
	5.4. Fraisage.....	3 – 5
	5.5. Ponçage.....	3 – 5
	5.6. Collage et jointage à l'échelle industrielle.....	3 – 5
	5.7. Traitement en surface à l'échelle industrielle..	6 – 5
	5.8. Protection contre incendie.....	7 – 5
	5.9. Expérience pratique acquise par une société de menuiserie finlandaise.....	7 – 5
	5.10. Problèmes sanitaires et de sécurité.....	8 – 5
CHAPITRE 6.	Utilisation du ThermoWood.....	1 – 6
	6.1. Usinage.....	1 – 6
	6.2. Assemblage.....	1 – 6
	6.3. Collage sur le site.....	2 – 6
	6.4. Traitement en surface.....	3 – 6
	6.5. Utilisation du ThermoWood pour planches de saunas.....	4 – 6
	6.6. Entretien des produits.....	4 – 6
	6.7. Problèmes sanitaires et de sécurité.....	4 – 6
CHAPITRE 7.	Manipulation et stockage du ThermoWood.....	1 – 7
	7.1. Généralités.....	1 – 7
	7.2. Manipulation de produits résiduels et rebutés.	1 – 7
CHAPITRE 8.	Questions le plus couramment posées.....	1 – 8

BIBLIOGRAPHIE

1. Introduction

1.1. Arrière-plan

Il est bien connu pendant des siècles que le brûlage de la surface de bois en flamme nue la rend plus endurante dans des emplois extérieurs. Rappelons que les vikings eux-mêmes utilisaient cette technique pour des ouvrages se trouvant à ciel ouvert, tels que haies.

Des études scientifiques du traitement thermique de bois ont été entrepris par Stamm et Hansen dans les années 1930 en Allemagne et par White dans les années 1940 aux Etats Unis. Dans les années 1950, les Allemands Bavendam, Runkel et Buro ont poursuivis les études en la matière. Kollman et Schneider ont publié leur résultats dans les années 1960, puis Rusche et Burmester, dans les années 1970. Plus récemment, des investigations ont été réalisées en Finlande, en France et aux Pays-Bas dans les années 1990. Des travaux scientifiques les plus extensifs et complets ont été entrepris par la Société finlandaise VTT. En outre, des recherches pratiques de grande signification ont été menées par YTI (Institut des Technologies Environnementales).

Le produit ThermoWood est fabriqué en adoptant un procédé mis au point par la VTT. Le matériau bois se chauffe à une température d'au moins 180 degrés centigrades étant protégé par la vapeur. Outre sa fonction protectrice, la vapeur exerce également l'influence sur les altérations chimiques se produisant au sein du bois. Ce genre de traitement thermique conduit à un produit ThermoWood qui est vraiment écologique. Sa couleur devient plus sombre, il est plus stable par rapport au bois conventionnel en conditions d'humidité variable et aussi, ses propriétés d'isolation thermique s'améliorent. Etant conduit sous des températures suffisamment élevées, ce traitement permet également de conférer au bois la résistance à la putréfaction. D'autre part, il manifeste une réduction de la résistance à la flexion.

1.2. Procédé ThermoWood en bref

Un procédé de traitement thermique utilisable à l'échelle industrielle a été élaboré en VTT en coopération avec l'industrie finlandaise de transformation de bois.

Le procédé ThermoWood fait l'objet de la licence accordée aux membres de l'Association Finlandaise Thermowood.

On peut subdiviser le procédé eu question en trois étapes principales suivantes:

- **Étape 1.** Accroissement de la température et séchage à haute température
En utilisant la chaleur et la vapeur, on élève rapidement la température dans le four de séchage jusqu'au niveau de 100 °C environ. Ensuite, la température est élevée continuellement jusqu'à 130 °C et pendant ce temps, il se produit le séchage haute température et un abaissement de la teneur en humidité jusqu'à zéro environ.
- **Étape 2.** Traitement thermique
Le séchage haute température terminé, on élève la température dedans le four jusqu'à un niveau allant de 185 °C à 215 °C. Dès que le niveau visé a été atteint, la température reste constante pendant 2 à 3 heures, en fonction de l'application finale prévue.
- **Étape 3.** Refroidissement et réglage de l'humidité
L'étape finale consiste à réduire la température au moyen de systèmes de pulvérisation à l'eau. A l'obtention d'un niveau de 80 à 90 °C, on procède à la réhumidification en vue de porter la teneur du bois en humidité à un niveau pratiquement réalisable de 4 à 7%.

PROCEDE THERMOWOOD

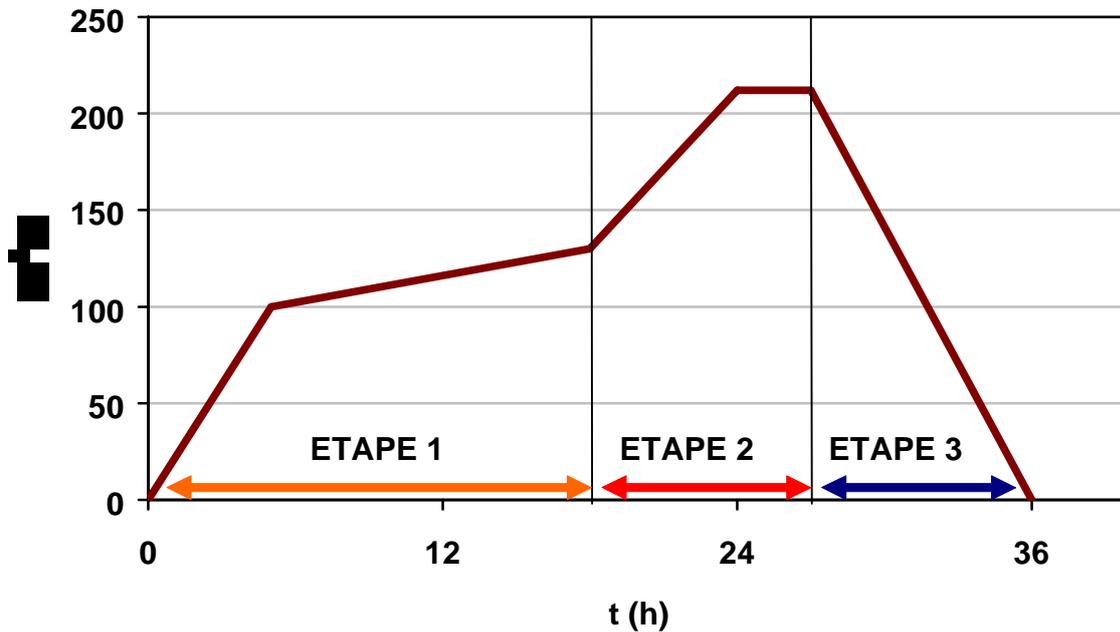


Figure 1-1. Diagramme illustrant le procédé de fabrication

Au cours d'élévation ou d'abaissement de la température, on utilise un système de réglage spécial permettant d'éviter tout clivage ou fissuration tant en surface qu'à l'intérieur. A cet effet, on prend des valeurs de réglage spécialement adaptés à des espèces et tailles de bois particulières.

On peut utiliser, en qualité de matière première, soit du bois frais abattu, soit celui qui a été desséché dans le four. Au cas où le procédé est initié avec du bois frais, celui-ci peut être séché dans le cadre d'un processus de séchage haute température très rapide. Le procédé considéré s'adapte indifféremment à des espèces résineuses ou feuillues. Cependant, il est nécessaire d'optimiser le procédé séparément pour chaque essence de bois particulière.

Le procédé ThermoWood décrit ci-dessus est analysé plus en détail au Chapitre 3.

1.3. Changements de la structure du bois et réactions chimiques

Le processus de traitement thermique a pour effet une restructuration du bois. Sur les photos ci-dessous, on peut voir la différence entre la structure du pin habituel non traité et celle du pin ayant subi le traitement thermique.



Figure 2-1. Pin non traité

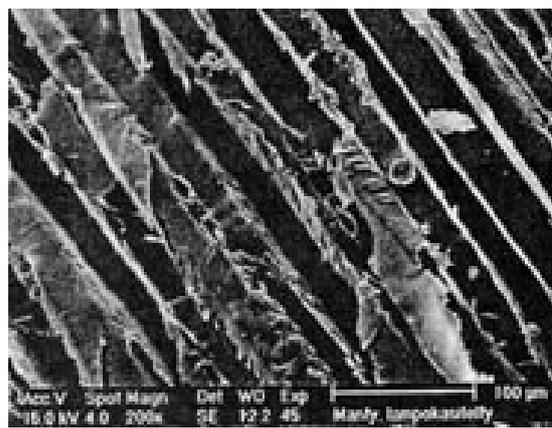


Figure 3-1. Pin après traitement thermique

En cas d'un chauffage permanent du bois, certains d'entre ses propriétés chimiques et physiques subissent des modifications. Une telle altération des propriétés s'explique principalement par la dégradation thermique d'hémicelluloses.

Des changements désirables deviennent déjà apparentes à environ 150 °C, continuant ensuite au fur et à mesure de l'élévation échelonnée de la température. En conséquence, le gonflement et le retrait dus à l'humidité se voient diminuer, on observe aussi un accroissement de l'endurance biologique, l'assombrissement, l'écoulement de certaines substances extractives hors du bois, son allégement, une réduction de l'humidité équilibrée et du pH, ainsi que l'amélioration des propriétés d'isolation thermique. D'autre part, on constate également une altération de la rigidité et de la résistance mécanique du bois.

1.4. Classification standard de traitement du ThermoWood

Etant donné que les essences résineuses, d'une part, et les essences feuillues, de l'autre part, se caractérisent par des propriétés nettement différentes, une classification séparée est prévue pour chacun de ces groupes. Il existe deux classes de traitement thermique. Il n'est pas raisonnable d'en prévoir davantage, puisque les propriétés du bois changent assez lentement au début de l'élévation de la température. Dès que le seuil de 200 °C est franchi, on est en présence d'une altération plus rapide des propriétés. Or, si nous adoptons plus de deux classes, cela risquerait de confondre les propriétés incluses dans des classes différentes. La valeur de température de 215 °C est suffisante comme niveau maximum, mais en même temps, elle n'est pas élevée à un tel point que l'effet du traitement thermique sur les propriétés structurales du bois soit trop important.

Pour la classe standard de traitement du ThermoWood, sont soulignées comme propriétés clés le gonflement et le retrait dus à l'humidité, le changement de couleur et l'endurance biologique.

Attendu que le matériau ThermoWood à livrer aux utilisateurs industriels subit le traitement thermique en conformité avec les accords conclus entre l'acheteur et le fabricant, il devient possible d'optimiser soigneusement le niveau de traitement compte tenu de l'application finale. Dans ce cas, le matériau sera représenté par du ThermoWood qui n'est pas rangé sous une classe particulière de la classification de traitement standard.

Classes standard de traitement du ThermoWood

Le produit ThermoWood se range dans deux classes standard de traitement: Thermo-S et Thermo-D.

Thermo-S

La lettre 'S' signifie ici 'stabilité'. A côté de l'aspect extérieur, la stabilité joue un rôle primordial dans les applications finales des produits sous cette classe de traitement. Les valeurs moyennes du gonflement et du retrait tangentiels dus à l'humidité pour bois traité de la classe Thermo-S sont de 6 à 8%. Le ThermoWood classé sous Thermo-S est considéré, conformément à la norme EN 113, comme relativement endurant, ce qui veut dire que sa résistance naturelle à la putréfaction satisfait aux exigences de la classe 3.

Ci-après sont énumérées les applications finales recommandées des pièces de bois thermiquement traitées classées sous Thermo-S:

Essences résineuses Thermo-S	Essences feuillues Thermo-S
<ul style="list-style-type: none">- composants pour la construction- mobilier en conditions sèches- fournitures en conditions sèches- meuble- matériels de jardins- planches pour saunas- composants de portes et fenêtres	<ul style="list-style-type: none">- mobilier- fournitures- meuble- planchers- structures pour saunas- matériels de jardins

Thermo-D

La lettre 'D' signifie ici 'endurance' ('durability' en anglais). A côté de l'aspect extérieur, l'endurance biologique joue un rôle primordial dans les applications finales des produits sous cette classe de traitement. Les valeurs moyennes du gonflement et du retrait tangentiels dus à l'humidité pour bois traité de la classe Thermo-D sont de 5 à 6%. Le ThermoWood classé sous Thermo-D est considéré, conformément à la norme EN 113, comme endurant, ce qui veut dire que sa résistance naturelle à la putréfaction satisfait aux exigences de la classe 2.

Ci-après sont énumérées les applications finales recommandées des pièces de bois thermiquement traitées classées sous Thermo-D:

Essences résineuses Thermo-D	Essences feuillues Thermo-D
<ul style="list-style-type: none">- panneautage- portes extérieures- volets- ouvrages destinés à la protection de l'environnement- mobilier pour sauna et salles de bain- planchers- matériels de jardins	Les mêmes applications finales que dans le cas de Thermo-S. Si l'on veut une couleur plus sombre, il faudra choisir Thermo-D.

Sommaire des effets du procédé ThermoWood sur les propriétés du bois par classes de traitement

Essences résineuses (pin et épicéa)

	Thermo-S	Thermo-D
Température de traitement	190 °C	212 °C
Résistance aux agents atmosphériques	+	++
Stabilité dimensionnelle	+	++
Résistance à la flexion	aucun effet	-
Assombrissement de la couleur	+	++

Essences feuillues (bouleau et tremble)

	Thermo-S	Thermo-D
Température de traitement	185 °C	200 °C
Résistance aux agents atmosphériques	aucun effet	+
Stabilité dimensionnelle	+	+
Résistance à la flexion	aucun effet	-
Assombrissement de la couleur	+	++

1.5. Liste des normes

- EN 20-1 Produits de conservation du bois. Détermination de l'efficacité protectrice contre *Lyctus Brunneus* (Stephens). Partie 1: Application par traitement en surface (méthode de laboratoire)
- EN 21 Produits de conservation du bois. Détermination de seuils toxiques contre *Anobium punctatum* (De Geer) par transfert larvaire (méthode de laboratoire)
- EN 46 Produits de conservation du bois. Détermination de l'action préventive contre larves récemment écloses de *Hylotrupes bajulus* (Linnaeus) (méthode de laboratoire)
- EN 47 Produits de conservation du bois. Détermination de seuils toxiques contre larves de *Hylotrupes bajulus* (Linnaeus) (méthode de laboratoire)
- EN 84 Produits de conservation du bois. Vieillissement accéléré de bois traité avant essais biologiques. Procédure de lessivage
- EN 113 Produits de conservation du bois. Méthode d'essais pour déterminer l'efficacité protectrice contre basidiomycètes destructeurs du bois. Détermination de seuils toxiques
- EN 117 Produits de conservation du bois. Détermination de seuils toxiques contre *Reticulitermes santonensis* de Feytaud (méthode de laboratoire)
- EN 252 Méthode d'essais sur le terrain pour déterminer l'efficacité protectrice relative d'un produit de conservation du bois en contact avec le sol
- EN 302-2 Adhésifs pour structures portantes en bois; méthodes d'essais; partie 2: détermination de la résistance à la délamination (méthode de laboratoire)
- EN 335-1 Endurance du bois et de produits à base du bois - Définition des classes de risque d'attaque biologique - Partie 1: Généralités
- EN 335-2 Endurance du bois et de produits à base du bois - Définition des classes de risque d'attaque biologique - Partie 2: Application au bois massif
- EN 350-1 Endurance du bois et de produits à base du bois. Endurance naturelle du bois massif. Partie 1: Aperçu des principes d'essais et de classification de l'endurance naturelle du bois
- EN 350-2 Endurance du bois et de produits à base du bois. Endurance naturelle du bois massif. Partie 2: Aperçu de l'endurance naturelle et de la susceptibilité de traitement d'espèces de bois choisies qui ont de l'importance en Europe
- EN 392 Pièces de bois lamellées collées - Collures aux essais de cisaillement
- EN 408 Ouvrages en bois. Pièces de bois à bâtir et pièces de bois lamellées collées. Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques
- EN 460 Endurance du bois et de produits à base du bois - Endurance naturelle du bois massif - Aperçu des exigences d'endurance pour bois à utiliser dans des classes de risque
- ENV 807 Produits de conservation du bois. Détermination de l'efficacité contre microchampignons de pourriture molle et autres micro-organismes terricoles

- EN 927-1 Peintures et vernis. Matériaux et systèmes de revêtement pour bois à utiliser à ciel ouvert. Partie 1: Classification et sélection
- EN 927-3 Peintures et vernis. Matériaux et systèmes de revêtement pour bois à utiliser à ciel ouvert. Partie 3: Essai de vieillissement naturel à l'air
- EN 927-4 Peintures et vernis. Matériaux et systèmes de revêtement pour bois à utiliser à ciel ouvert. Partie 4: Evaluation de la perméabilité à la vapeur d'eau
- EN 927-5 Peintures et vernis. Matériaux et systèmes de revêtement pour bois à utiliser à ciel ouvert. Partie 5: Evaluation de la perméabilité à l'eau sous forme liquide
- EN 12037 Produits de conservation du bois. Méthode d'essais sur le terrain pour déterminer l'efficacité protectrice relative d'un produit de conservation du bois qui est exposé en dehors du contact avec le sol - Méthode de joint horizontal à recouvrement
- ISO 5660-1 Essais de tenue au feu; réaction au feu; partie 1: vitesse de dégagement de la chaleur des produits de construction (méthode de calorimètre à cône)
- ISO 6341 Qualité de l'eau - Détermination de l'inhibition de la mobilité de *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) - Essai de toxicité aiguë
- ASTM D 3273 Méthode d'essais pour déterminer la résistance à la croissance de la moisissure sur les surfaces de revêtements intérieurs dans une chambre climatisée

2. Matière première

2.1. Facteurs influençant la qualité du bois ayant subi un traitement thermique

2.1.1. Généralités

La qualité de la matière première exerce un effet significatif sur celle du produit fini en bois ayant subi un traitement thermique. En principe, tous genres d'essences sont sujets au traitement thermique. Néanmoins, les paramètres du procédé doivent être optimisés séparément pour chaque essence particulière.

2.1.2. Espèces de bois

En Finlande, on soumet au traitement thermique les espèces suivantes: pin (*Pinus silvestris*), épicéa (*Picea abies*), bouleau (*Betula pendula*) et tremble (*Populus tremula*). En outre, une certaine expérience a été acquise en traitement du pin de Monterey (*Pinus radiata*), du frêne (*Fraxinus excelsior*), du mélèze (*Larix sibirica*), de l'aune (*Alnus glutinosa*), du hêtre (*Fagus sylvatica*) et de l'eucalyptus.

Il existe une certaine différence entre les espèces de bois en ce qui concerne l'accroissement annuel, les cellules parenchymateuses, les pores du bois, le nombre de composants chimiques, etc... De plus, les espèces particulières peuvent différer, par exemple, en propriétés liées à la longueur des fibres: ainsi, le bois résineux montre une large distribution des longueurs par rapport au bois feuillu qui se caractérise, en moyenne, par une longueur plus courte et une dispersion moindre.

2.2. Qualité du bois scié

2.2.1. Degrés de qualité des sciages du bois résineux nordique commun

La qualité du bois scié pris comme matière première est contrôlée au moyen d'un système général de classification. Les degrés de qualité sont divisés en trois groupes de par le nombre, la qualité, la place et la taille des nœuds, ainsi que d'autres caractéristiques. Il s'agit des degrés A, B et C, le premier d'entre eux étant subdivisé en sous-degrés A1, A2, A3 et A4. En outre, les scieries utilisent plusieurs systèmes de classification propres adaptés aux besoins de clients particuliers.

2.2.2. Nœuds

On a représenté, sur les figures ci-dessous, divers types de nœuds qu'on doit prendre en considération pour le choix de la matière première. Il est préférable de choisir essentiellement, pour le traitement thermique, les sciages ayant des nœuds sains. applications.

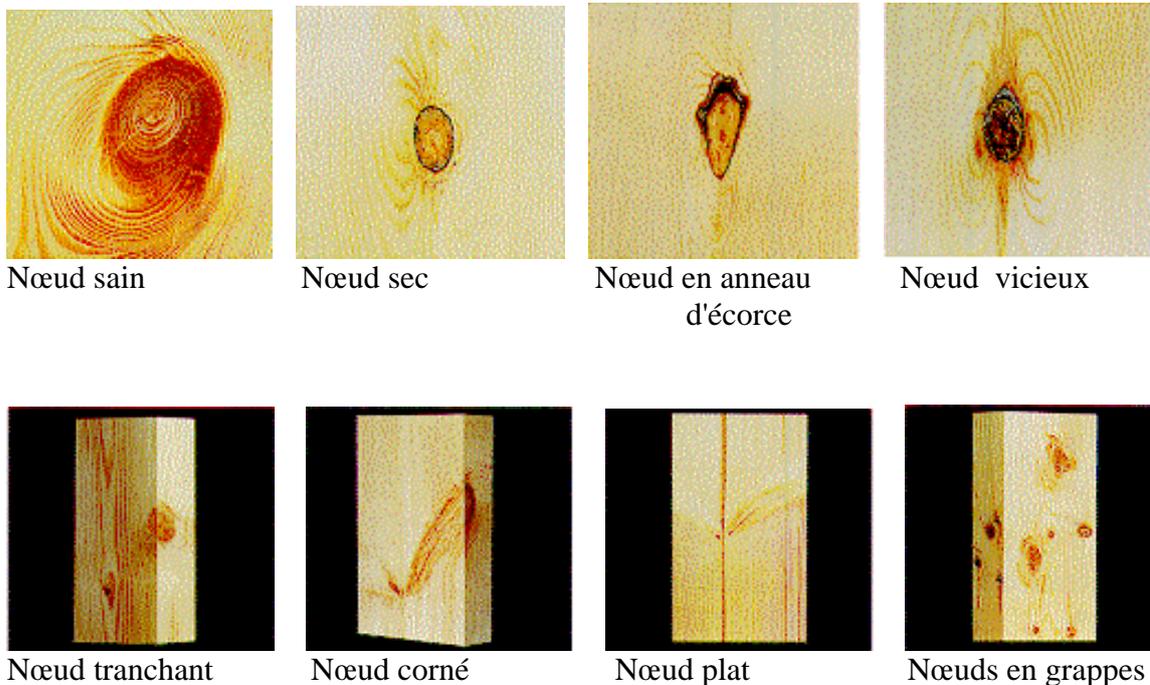


Figure 1-2. Types de nœuds

2.2.3. Exigences minimales imposées à la matière première

L'Association Finlandaise ThermoWood a spécifié des seuils de niveaux de qualité pour le pin, l'épicéa et les pièces de bois feuillu utilisées comme matière première pour produire le ThermoWood. Ces exigences minimales de qualité sont regroupées dans les Tableaux 1 à 3 qui suivent.

Tableau 1-2. Exigences imposées à la qualité de pièces de pin à soumettre au traitement thermique

QUALITE		A+B meubles
NŒUDS ¹⁾ dans le pire, 2 mètres de long		pcs
Sain/mort	à la face	8/2
	au bord	4/1
Nœuds avec écorce		Non admis
Trou de nœud ou nœud bouchon		Non admis
Taille maximum d'un nœud sain à la face		Taille de nœud, mm
Dimension	16, 19, 22, 25 * 75, 100, 115	35
	125, 150	55
	175, 200, 225	55
	32, 38, * 75, 100, 115	55
	125, 150	55
	175, 200, 225	60
	44, 50, *75, 100, 115	60
	125, 150	60
	175, 200, 225	70
	63, 75, * 75, 100, 115	60
	125, 150	60
	175, 200, 225	65
Taille maximum d'un nœud sain au bord		Taille de nœud, mm
Épaisseur de la pièce de bois, mm	16, 19	= épaisseur
	22, 25	22
	32, 38	30
	44, 50	40
	63, 75	50
Autres nœuds		Taille maximum en % de celle d'un nœud sain
Nœuds bien adhérents de degrés A et B		
Nœuds en grappes, par nœud ²⁾		70
Nœud mort ³⁾		20
Nœud en anneau d'écorce ⁴⁾		Non admis
Nœud vicieux		Non admis
Autres défauts		
Rupture supérieure		Max. 20% de la largeur
Cœur exposé		Admis
1	Si la taille du nœud est inférieure à la valeur indiquée dans le Tableau, alors un nombre plus élevé de nœuds est permis. Cependant, la somme des tailles de nœuds en mm (= nombre de nœuds * diamètre) ne peut pas être excédée pour le types respectifs de nœuds.	
2	Une grappe de nœuds consiste en au moins 4 nœuds de diamètre au-dessus de 12 mm, tous étant disposés dans les limites de 150 mm de longueur à la face extérieure et aux bords. Au cas où les nœuds ne sont pas nettement séparés par une fibre non perturbée, ils sont à classer comme un seul nœud et à évaluer en conséquence.	
3	Si un nœud adhère à plus de $\frac{3}{4}$ au bois adjacent, on le considère comme un nœud sain.	
4	Si moins de $\frac{1}{4}$ de nœud est entouré de l'écorce, un tel nœud sera classé comme un nœud mort.	

Tableau 2-2. Exigences imposées à la qualité de pièces d'épicéa à soumettre au traitement thermique

QUALITE		ST 1-5
NŒUDS ¹⁾ dans le pire, 2 mètres de long		pcs
Sain/mort	à la face	8/2
	au bord	4/1
Nœuds avec écorce		Non admis
Trou de nœud ou nœud bouchon		Non admis
Taille maximum d'un nœud sain à la face		Taille de nœud, mm
Dimension	16, 19, 22, 25 * 75, 100, 115	35
	125, 150	40
	175, 200, 225	45
	32, 38, * 75, 100, 115	40
	125, 150	45
	175, 200, 225	50
	44, 50, *75, 100, 115	45
	125, 150	50
	175, 200, 225	55
	63, 75, * 75, 100, 115	50
	125, 150	55
	175, 200, 225	60
Taille maximum d'un nœud sain au bord		Taille de nœud, mm
Épaisseur de la pièce de bois, mm	16, 19	= épaisseur
	22, 25	22
	32, 38	30
	44, 50	40
	63, 75	50
Autres nœuds		Taille maximum en % de celle d'un nœud sain
Nœuds bien adhérents de degrés A et B		
Nœuds en grappes, par nœud ²⁾		La somme des nœuds ne peut pas être excédée
Nœud mort ³⁾		20
Nœud en anneau d'écorce ⁴⁾		Non admis
Nœud vicieux		Non admis
Autres défauts		
Rupture supérieure		Max. 20% de la largeur
Cœur exposé		Admis
1	Si la taille du nœud est inférieure à la valeur indiquée dans le Tableau, alors un nombre plus élevé de nœuds est permis. Cependant, la somme des tailles de nœuds en mm (= nombre de nœuds * diamètre) ne peut pas être excédée pour le types respectifs de nœuds.	
2	Une grappe de nœuds consiste en au moins 4 nœuds de diamètre au-dessus de 12 mm, tous étant disposés dans les limites de 150 mm de longueur à la face extérieure et aux bords. Au cas où les nœuds ne sont pas nettement séparés par une texture non perturbée, ils sont à classer comme un seul nœud et à évaluer en conséquence.	
3	Si un nœud adhère à plus de ¾ au bois adjacent, on le considère comme un nœud sain.	
4	Si moins de ¼ de nœud est entouré de l'écorce, un tel nœud sera classé comme un nœud mort.	

Tableau 3-2. Exigences imposées à la qualité de pièces de bois feuillu à soumettre au traitement thermique

EXIGENCES DE QUALITE (s'appliquent à tout genre de pièces de bois feuillu à soumettre au traitement thermique)		
	DEGRE E Définition: Coupe latérale complètement saine sans nœuds de 4 côtés	DEGRE A Définition: Coupe latérale sans nœuds de 3 côtés
<i>Dimensions minimum pour teneur en humidité à la livraison (environ 18%)</i>		
Largeur	<i>Dimension nominale + 6% avec permission de quelques millimètres additionnels</i>	
Epaisseur	<i>Dimension nominale + 3% avec permission de quelques millimètres additionnels</i>	
Fentes / fractures	<i>Non admises</i>	
Flache	<i>Non admise</i>	
Déjettement longitudinal-radial	<i>= 8 mm / 3 m</i>	
Gondolement longitudinal	<i>= 15 mm / 3 m</i>	
Torsion	<i>= 10 mm / 3 m</i>	
Teneur en humidité	<i><20%, régulière dans le lot entier</i>	
Bleuissement	<i>Non admis</i>	
Longueur à la livraison	<i>>2100 mm (sur accord séparé, peut être plus court)</i>	
Empilage	<i>En fonction de la longueur, à intervalles de 100 mm</i>	
Cœur du bois	Sombre ou clair	Non admis
Décoloration due au séchage à l'air	Non admis	
Décoloration pendant le sciage ou le stockage	Non admis	
Décoloration régulière	<i>Sur accord</i>	
Instructions sur la qualité par espèces individuelles	Bouleau Sont permises des taches dues au feu et celles d'origine chimique.	Bouleau Sur la face de qualité inférieure, sont permis deux nœuds de taille max. de 10 mm ou un nœud mort de taille max. de 10 mm par mètre de la pièce de bois. Il est également permis d'avoir le cœur noir dans des pièces de bois singulières, de

		<p>largeur max. de 20 mm sur une longueur de 0,5 m.</p> <p>Tremble Sur la face de qualité inférieure, sont permis, dans des pièces de bois singulières, certains nœuds superficiels et décolorations.</p>
	<p><i>Tremble</i> N'est admis aucun bois saturé de l'eau ni collapsus cellulaire.</p>	

2.2.4. Humidité du bois

En ce qui concerne le succès du traitement thermique, la teneur initiale du bois en humidité n'a pas d'importance. On peut entreprendre le traitement soit avec du bois frais abattu, soit avec du bois séché. En tout cas, le bois doit être traité jusqu'à obtenir son état absolument sec au premier stade du traitement. Le séchage constitue l'étape la plus longue du procès de traitement thermique.

Le bois frais contient de l'eau en deux formes: eau libre dans les lumières des cellules et eau liée dans les parois cellulaires. Au cours du séchage, une part de l'eau contenue dans les lumières s'achemine à travers les capillaires vers les fibres grâce à la tension superficielle et à la différence des pressions de vapeur. Si les pores entre deux lumières cellulaires voisines permettent un tel passage libre, l'eau sera capable de faire un parcours de plusieurs mètres. Autrement, le dessèchement capillaire ne peut atteindre qu'un faible nombre de cellules en partant des bouts du bois. La grande majorité de l'eau est éliminée par diffusion à travers les parois cellulaires sous forme de vapeur. Ceci se produit à travers les lumières cellulaires perpendiculaires aux fibres.

3. Procédé ThermoWood

3.1. Equipement

Au cours du procédé de traitement thermique, on utilise de l'eau, de la vapeur et températures élevées. Les conditions du processus sont corrosives, de même que les composés constitutifs qui s'évaporent hors du bois.

L'équipement utilisé pour le traitement thermique est fait en acier inoxydable. En outre, les températures élevées nécessitent l'emploi de solutions originales pour souffleries et radiateurs, ainsi que de dispositifs de sécurité.

Afin de générer la chaleur nécessaire pour le procédé ThermoWood, on peut utiliser des systèmes de chauffage à l'huile alimentés en biocombustible, en mazout ou en gaz. Sont également possibles d'autres solutions chauffantes, telles que p.ex. chauffage électrique direct. Par ailleurs, l'équipement utilisé doit comprendre un générateur de vapeur assurant l'obtention de la vapeur nécessaire au procès.

Les gaz qui s'évaporent du bois au cours du procès sont traités en utilisant diverses méthodes telles que brûlage. L'objectif principal du traitement consiste à prévenir toute odeur offensive affectant l'environnement à cause de l'évaporation des composés hors du bois.

3.2. Etapes du procédé

Séchage

Le séchage constitue l'étape du procédé de traitement thermique qui demande le plus de temps. On l'appelle aussi "séchage à haute température". Pendant cette étape, la teneur du bois en humidité est réduite jusqu'à zéro avant que commence l'étape de traitement thermique proprement dit. La durée de l'étape en question dépend de la teneur initiale du bois en humidité, de l'espèce de bois particulière et de l'épaisseur de la pièce de bois. En tant que matière première, on peut prendre soit le bois frais abattu, soit le bois séché.

Un séchage réussi est important pour éviter toute fente interne. Etant donné que le bois devient élastique aux hautes températures, sa résistance à la déformation est meilleure que pendant le séchage au four conventionnel.

Traitement thermique

Cette opération s'effectue dans une chambre fermée où l'on fait accroître la température jusqu'aux valeurs de 185 à 215 °C, en fonction du niveau de traitement. L'étape de traitement thermique commence immédiatement après la fin de celle de séchage à haute température. Pendant le séchage et le traitement thermique, on utilise de la vapeur comme milieu protecteur. Le gaz protecteur sert à prévenir le brûlage du bois et exerce aussi l'influence sur les altérations chimiques ayant lieu au sein du bois. L'étape de traitement thermique prend 2 à 3 heures.

Conditionnement

Le conditionnement suit l'opération du traitement thermique. On prévoit le refroidissement contrôlé du bois après le traitement thermique. Il faut être très attentif durant cette étape, par ce que la grande différence de températures entre le bois et l'air ambiant peut causer le fendage. En outre, le bois doit être soumis à une réhumidification en vue de porter sa teneur en humidité à un niveau approprié nécessaire à l'utilisation finale. Le niveau final de la teneur du bois en humidité exerce un effet considérable sur ses performances: en effet, il est difficile de manipuler le bois lorsqu'il est trop sec. A la fin de l'étape de conditionnement, la teneur finale du bois en humidité doit être de 5 à 7%. En fonction de la température de traitement et du type de la pièce de bois, l'étape de conditionnement peut durer de 5 à 15 heures.

3.3. Energie

L'énergie est surtout nécessaire pour le séchage du bois qui est responsable des 80% de la quantité utilisée d'énergie calorifique. La demande totale en énergie est de 25% seulement supérieure à celle d'un procès traditionnel de séchage du bois, alors que la demande en électricité reste la même.

3.4. Problèmes liés à l'environnement

Vu qu'il n'y a aucune nécessité en agents chimiques, les seuls milieux utilisés étant l'eau et la chaleur, le procédé ThermoWood se montre absolument écologique. Comme des substances extractives se libèrent du bois, il faudra donc les traiter, par exemple au moyen du brûlage, de sorte à éviter toute odeur fétide.

Au cours du procès, on n'observe pas de génération de quantités significatives d'eau d'égout. Les composants solides contenus dans l'eau d'égout sont séparés vers un bassin de sédimentation *ad hoc*, alors que le reste sera traité dans des installations d'épuration.

4. Propriétés du ThermoWood

Toutes les propriétés décrites dans ce Chapitre sont basées sur les résultats d'une série d'essais conduits pendant une période de plusieurs années en relation avec le traitement thermique du bois. Ces propriétés ne doivent être utilisées qu'à titre informatif, elles sont sujettes à des modifications dues aux différences inhérentes entre diverses pièces de bois. L'information présentée ici se base sur les connaissances actuelles. Des essais supplémentaires sont constamment en cours de réalisation en vue de vérifier les résultats des tests précédents et d'acquérir une base de données statistiquement significative regroupant les propriétés les plus importantes du produit ThermoWood.

La plupart des essais ont été menés sur essences résineuses (pin et épicéa), bien que certains d'entre eux soient également consacrés à des essences feuillues, telles que bouleau et tremble. Les différences entre l'épicéa et le pin ne sont pas trop grande; cependant, il existe bien sûr des différences naturelles en densité et type de nœud.

4.1. Altérations chimiques

4.1.1. Généralités

La VTT, l'Université Technologique de Helsinki et l'Université de Helsinki ont publié ensemble, en années 1998 à 2001, plusieurs œuvres scientifiques, concernant les altérations chimiques ayant lieu dans le bois soumis au traitement thermique, en tant que partie intégrante de leur projet conjoint intitulé "Mécanismes réactionnels du bois modifié". En outre, M. Risto Kotilainen de l'Université de Jyväskylä a écrit une thèse intitulée "Altérations chimiques ayant lieu dans le bois au chauffage jusqu'à 150 à 260 °C".

La compréhension des nombreuses altérations qu'on observe dans la structure physique et chimique du bois au cours du processus de chauffage nécessite une bonne connaissance basique de sa composition chimique, de sa structure et de ses propriétés physiques.

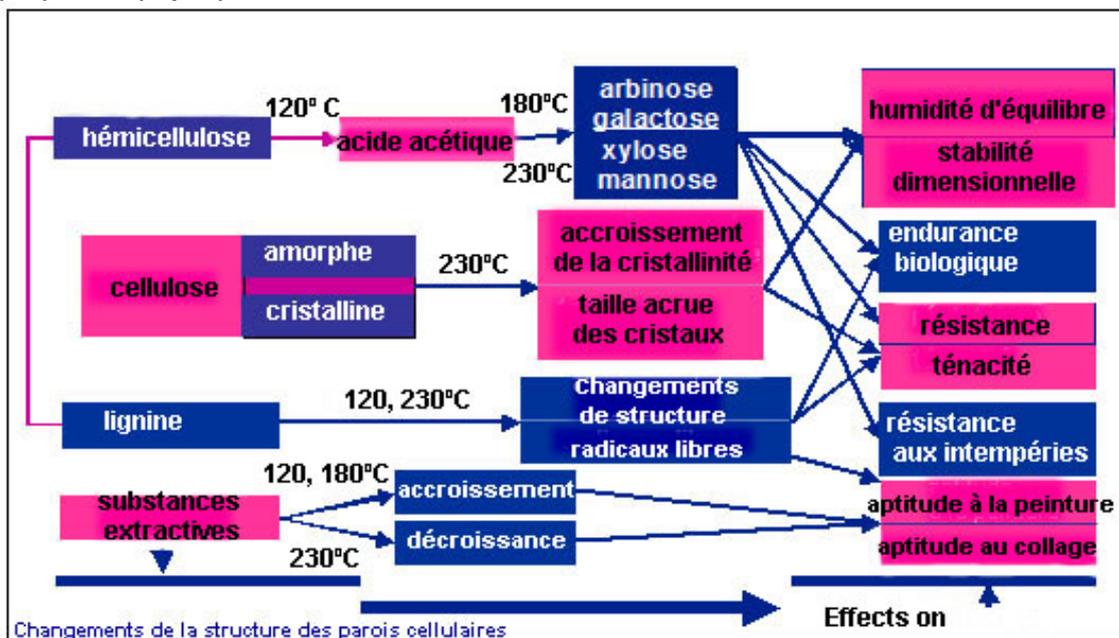


Figure 1-4. Mécanismes réactionnels du bois soumis au traitement thermique (source: VTT)

Les composants principaux du bois (cellulose, hémicelluloses et lignine) se dégradent sous l'action de la chaleur de façon différente. Ainsi, la cellulose et la lignine se dégradent moins vite et aux températures plus élevées que les hémicelluloses. Les substances extractives présentes dans le bois se dégradent plus facilement; de plus, ces composés s'évaporent du bois pendant le traitement thermique.

4.1.2. Hydrocarbures

La cellulose et les hémicelluloses sont des hydrocarbures qui jouent le rôle de composants structuraux du bois. La cellulose constitue 40 à 50% et les hémicelluloses, 25 à 35% du bois. La cellulose représente une chaîne longue (DP 5000 à 10000) constituée de motifs de glucose, tandis que les hémicelluloses sont des chaînes plus courtes (DP 150 à 200) constituées de divers monosaccharides.

La composition et les teneurs en hémicelluloses varient d'une espèce de bois à l'autre. Au cours du traitement thermique, les deux groupes sont atteints de changements, quoique la plupart des altérations se produisent dans les hémicelluloses qui se caractérisent par une teneur en oxygène plus élevée.

Les composants de la cellulose, β -D-glucopyranoses, sont joints entre eux par des liaisons (1→4)-glucosidiques. Les chaînes de la cellulose sont jointes, à leur tour, par des liaisons existant entre les groupes hydroxyles. Aux températures au-dessous de 300 °C, le degré de polymérisation pendant la décomposition de la cellulose décroît; il se produit l'élimination de l'eau; sont en outre générés des radicaux libres, des groupes carbonyles, carboxyliques et hydroperoxydes, ainsi que l'oxyde de carbon, le dioxyde de carbon et le charbon de bois réactif.

D'autre part, les composants des hémicelluloses comportent la D-glucose, la D-mannose, la D-galactose, la D-xylose, la L-arabinose et faibles quantités de L-rhamnose, d'acide 4-O-méthyle-D-glucuronique et d'acide D-galacturonique. Ils sont liés entre eux par des liaisons (1→4)- ou (1→6)-.

Pendant le chauffage du bois, il y a formation d'acide acétique par hydrolyse à partir d'hémicelluloses acétylées. L'acide ainsi dégagé sert de catalyseur dans l'hydrolyse des hémicelluloses en sucres solubles. De plus, l'acide acétique qui s'est formé dépolymérise les microfibrilles cellulosiques dans la zone amorphe. L'acide assure l'hydrolyse des liaisons qui joignent les motifs de glucose, désintégrant cette dernière en chaînes plus courtes.

A la fin du traitement thermique, la quantité d'hémicelluloses dans le bois devient considérablement moindre. Il en résulte une réduction notable de la quantité de matériau susceptible aux champignons, ce qui constitue une des raisons de la résistance accrue à la décomposition causée par les champignons qui caractérise le bois soumis au traitement thermique en comparaison avec le bois résineux ordinaire séché au four. Grâce à la dégradation des hémicelluloses, il se produit une diminution de la concentration des groupes hydroxyles absorbants de l'eau, ainsi qu'une amélioration de la stabilité dimensionnelle du bois traité par rapport au bois résineux séché au four conventionnel.

La température de décomposition des hémicelluloses est de l'ordre de 200 à 260 °C, alors que les valeurs correspondantes pour la cellulose sont de 240 à 350 °C environ. Comme la quantité d'hémicelluloses dans les essences feuillues est supérieure à celle des essences résineuses, les premières montrent évidemment une dégradation plus aisée. Toutefois, la désintégration d'une chaîne d'hémicelluloses ne produit pas de réduction autant grande de la résistance du bois que ne ferait la désintégration des chaînes cellulosiques. En revanche, la désintégration d'une chaîne d'hémicelluloses va

améliorer l'aptitude du bois au formage par pression et réduire la génération de tensions et la résilience du bois.

4.1.3. Lignine

La lignine maintient les cellules du bois liées ensemble. La matière sombre de la substance intercellulaire du bois consiste principalement en la lignine. On la trouve aussi aux parois cellulaires primaire et secondaire. La lignine constitue 25 à 30% et 20 à 25% des essences résineuses et feuillues, respectivement. La structure chimique exacte de la lignine n'est pas encore déterminée, mais ses précurseurs, c'est-à-dire composants, sont déjà connus depuis des décennies. La lignine se compose essentiellement de ces motifs de phénylpropane qui sont généralement joints entre eux par des liaisons éther- et carbon-carbon (DP 10-50). Les essences résineuses contiennent principalement des motifs guaïacyliques du phénylpropane, alors que les essences feuillues incluent les quantités pratiquement égales de motifs guaïacyliques et syringyliques du phénylpropane. En outre, les deux contiennent des quantités insignifiantes de phénylpropane p-hydroxylique.

Au cours du traitement thermique, les liaisons entre les motifs du phénylpropane s'avèrent partiellement rompues. Les liaisons éther aryliques entre les motifs syringyliques se détruisent plus aisément que celles entre les motifs guaïacyliques. Les réactions thermochimiques sont plus typiques des chaînes latérales allyliques que des liaisons éther aryliques-alcoyliques. Plus long est le temps d'autohydrolyse, et plus grand est le nombre de réactions de condensation qui se déroulent. Les produits d'une réaction de condensation comportent des groupes β -cétoniques et des groupes conjugués d'acide carboxylique.

Parmi tous les constituants du bois, la lignine possède la meilleure capacité de résister à la chaleur. Sa masse ne commence à décroître que lorsque la température dépasse 200 °C, quand les liaisons éther β -aryliques commencent à rompre. Aux températures élevées, il y a réduction de la teneur de la lignine en méthoxy et transformation de certains d'entre les motifs non condensés de la lignine en motifs du type diphénylméthane. En conséquence, la condensation du type diphénylméthane devient la réaction la plus typique dans la plage de températures de 120 à 220 °C. Cette réaction exerce un effet considérable sur les propriétés que la lignine montre pendant le traitement thermique, telles que sa couleur, sa réactivité et la dissolution.

4.1.4. Substances extractives

Le bois contient des quantités insignifiantes de constituants à petites molécules. Les substances extractives représentent moins de 5% du bois. Ce groupe inclut, par exemple, terpènes, graisses, cires et phénols. Les substances extractives sont présentes dans diverses espèces de bois comme éléments de nature hétérogène, le nombre de composés étant extrêmement élevé. Elles ne sont pas des composants structuraux du bois, de sorte que la plupart des composés s'évaporent aisément pendant le traitement thermique.

4.1.5. Toxicité

La toxicité écologique des filtrats de lessivage du bois d'épicéa soumis au traitement thermique a été essayée à CTBA (un projet de UE, Amélioration de la qualité d'espèces de bois non durantes au moyen du traitement thermique par pyrolyse, 1998). Les essais ont été conduits sur les filtrats de lessivage obtenus après un test conforme à la norme EN 84. Ce test est appliqué à l'évaluation de la fixation des biocides dans les cellules du bois. De petits spécimens étaient lessivés avec de l'eau,

après quoi l'eau était essayée en conformité avec NF-EN ISO 506341 contre *Daphnia magna* (petit animal aquatique dulcicole) et l'on avait exécuté des tests de microtoxicité sur bactéries lumineuses marines. Les résultats des essais ont montré que les filtrats de lessivage ne contenaient pas de substances toxiques pour *Daphnia magna* et étaient inoffensifs envers les bactéries.

Le ThermoWood a été essayé comme matériau substitut de l'os (VTT et Clinique chirurgicale près l'Hôpital Universitaire deTurku). Des tests préliminaires ont montré des résultats satisfaisants: le bouleau soumis au traitement thermique avait des propriétés similaires à celles des os. Le produit ThermoWood s'est avéré stérile, aucune substance toxique n'a été décelée.

4.2. Changements de nature physique

4.2.1. Densité

La densité est déterminée en mesurant le poids et les dimensions de l'échantillon. La densité du ThermoWood est plus basse par rapport à celle du bois non traité, ce qui s'explique essentiellement par les changements de la masse de l'échantillon au cours du traitement, quand le bois perd son poids. Comme on peut le voir sur la figure ci-dessous, la densité décroît au fur et à mesure de l'élévation de la température de traitement. Cependant, on observe une grande déviation et un faible coefficient de détermination qui sont dus à la variation naturelle de la densité du bois.

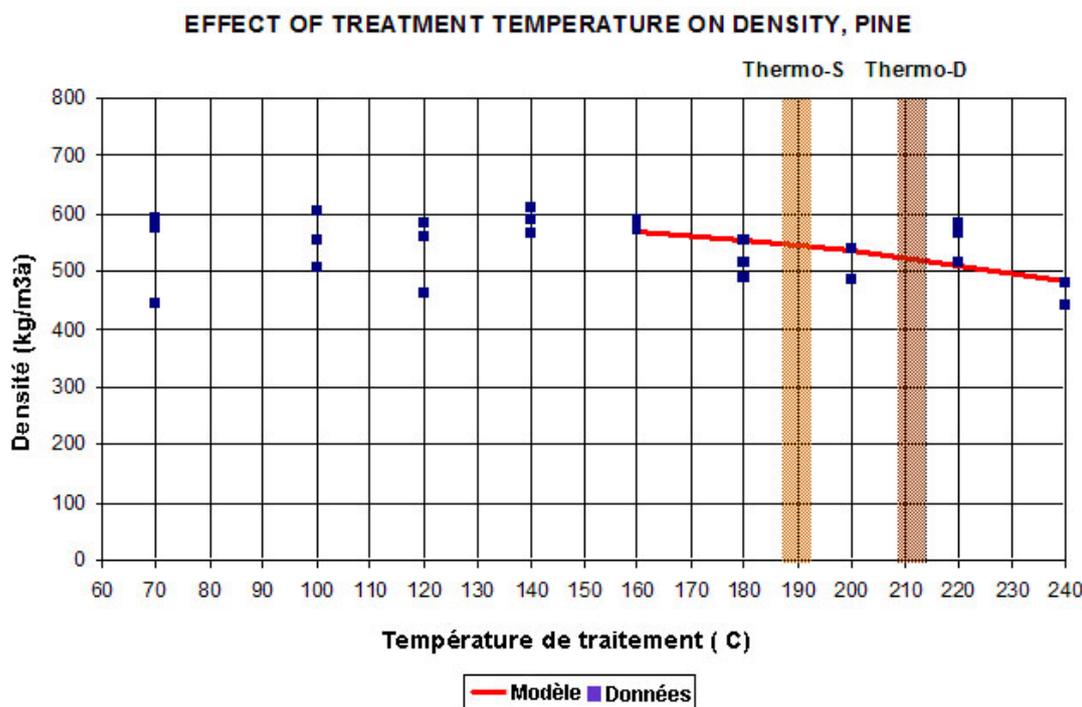


Figure 2-4. Effet de la température de traitement sur la densité du bois de pin soumis au traitement pendant 3 heures à 160-240 °C. La densité moyenne dans la plage de températures $T < 160$ °C est de 560 kg/m^3 . Le matériau testé était conditionné à HR 65% (source: VTT).

4.2.2. Résistance

La résistance du matériau de bois présente en général une stricte corrélation avec la densité. Or, comme la densité du ThermoWood s'abaisse légèrement après traitement, il est évident que ce produit montre, dans certains cas, des valeurs de résistance moins grandes. Néanmoins, le rapport poids/résistance peut rester pratiquement inchangé. La résistance du bois dépend aussi, dans une forte mesure, de la teneur en humidité et de son niveau relatif au-dessous du point de saturation des fibres. Le ThermoWood peut bénéficier de sa basse teneur en humidité équilibrée.

Résistance à la flexion

On a utilisé deux méthodes pour essayer la résistance à la flexion: une avec un matériau exempt de défauts dans un intervalle assez court et une autre, avec des pièces présentant des défauts naturels, mais dans un intervalle plus long. Les résultats (Figure 3-4) montrent qu'une perte significative de la résistance commence aux températures au-dessus de 220 °C.

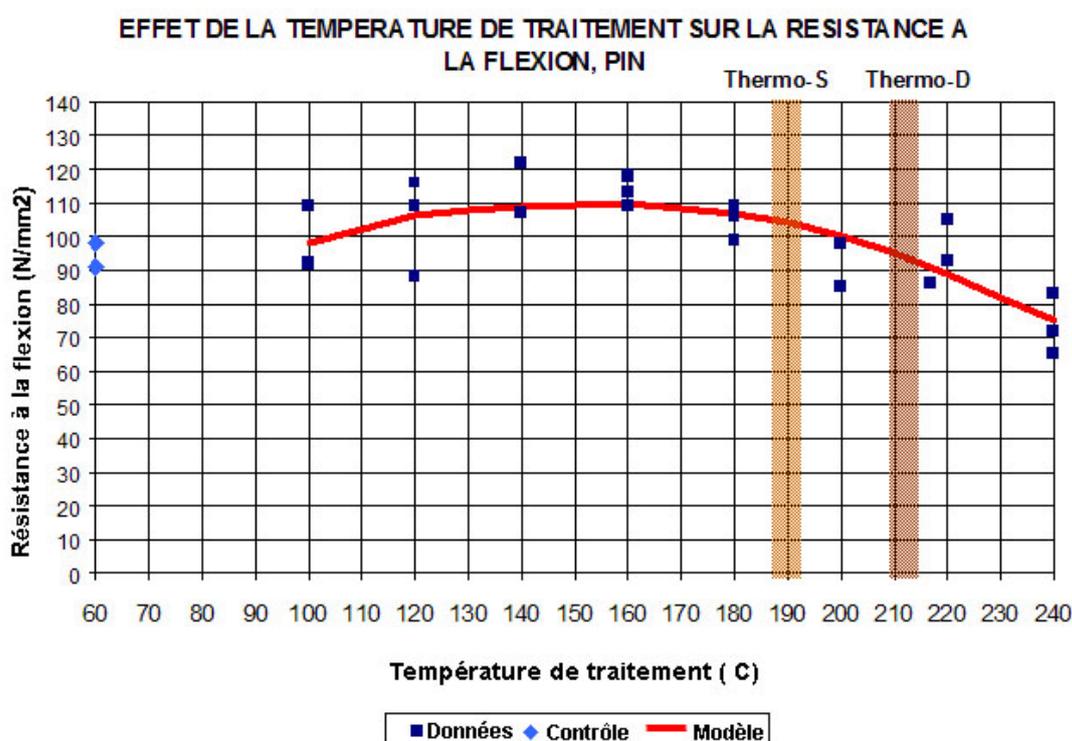


Figure 3-4. Effet de la température de traitement thermique sur la résistance à la flexion du bois de pin, densité moyenne 560 kg/m³ (source: VTT)

EFFET DE LA TEMPERATURE DE TRAITEMENT SUR LE MODULE D'ELASTICITE, PIN

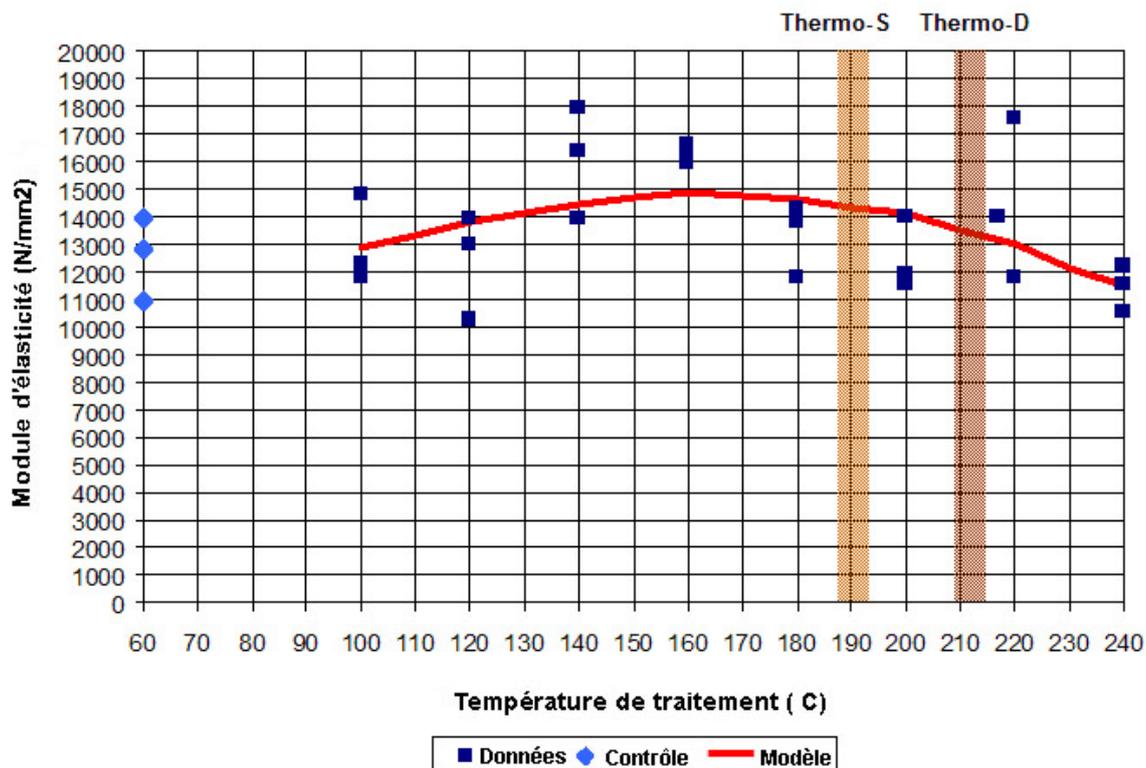


Figure 4-4. Effet de la température de traitement thermique sur le module d'élasticité du bois de pin, densité moyenne 560 kg/m³ (source: VTT)

Comme le montrent les résultats, le traitement thermique ne conduit pas à un changement significatif du module d'élasticité du bois (Figure 4-4).

On a également étudié la résistance du bois d'épicéa soumis au traitement thermique (230 °C, 5 heures) en prenant des pièces à tester plus grandes, ce conformément à EN 408. Avant les essais, les pièces à tester ont été conditionnées à l'humidité relative de 45% et 65%. Les résultats sont donnés dans le Tableau 1-4. Pour des pièces de bois contenant des nœuds, les valeurs de la résistance du bois soumis au traitement thermique étaient supérieures à celles obtenues avec le bois non traité. Cela s'explique, entre autres choses, par le fait que les résines sont extraites du bois.

Tableau 1-4. Résistance à la flexion et module d'élasticité du bois d'épicéa soumis au traitement thermique

Série	largeur (mm)	hauteur (mm)	longueur (mm)	HR (%)	densité	résistance à la flexion ¹⁾ N/mm ²	module d'élasticité ¹⁾ N/mm ²	module d'élasticité apparent ¹⁾ N/mm ²
1	38	100	1800	45	425±45	23,0 ± 11,2	11015±3142	9495±2823
2	38	100	1800	65	392±40	22,5 ± 9,2	12326±1681	11494±1280
3	100	38	1800	45	392±25	19,0 ± 5,4	10486±1649	9537±1705
4	100	38	1800	65	397±17	27,9 ± 5,9	11913±1422	11230±1224

¹⁾ valeur moyenne et déviation standard

Les valeurs de référence pour le bois d'épicéa non traité pour une teneur en humidité de 12% sont: résistance à la flexion 40 à 50 N/mm² et module d'élasticité 9700 à 12000 N/mm².

Pendant les essais conduits sur des pièces de bois de basse qualité avec défauts et un intervalle de 1800 mm, qui ont été traitées à 230 °C durant 4 heures (Tableau 1-4), la résistance à la flexion était réduite d'une valeur allant jusqu'à 40% par rapport au bois ordinaire non traité. Ceci est dû à l'affaiblissement des zones autour des défauts.

Cependant, lorsque le bois était traité pendant 4 heures à des températures moins élevées, de l'ordre de 190 °C, la différence entre les résistances à la flexion s'est avérée beaucoup plus petite.

La plupart des essais ont été exécutés, jusqu'à présent, sur des pièces de petite taille et sans défauts. Or, de nouveaux tests s'imposent avec des pièces à tester de grande taille qui présenteraient un nombre variable de nœuds et différents types des nœuds. N'ayant pas pour le moment d'information suffisante, nous recommandons de **NE PAS** employer le ThermoWood, avant que le temps opportun ne vienne, dans les structures portantes.

Tenue aux vis

Comme le montrent les résultats de l'étude du traitement thermique du bois entreprise en 1999 par Institut des Technologies Environnementales, l'impact principal sur la tenue aux vis était dû plutôt aux variations générales de la densité du bois qu'au traitement thermique proprement dit. L'étude a permis de constater que pour un matériau à densité plus basse, les résultats étaient meilleurs quand on avait prévu trous préalablement pratiqués de taille plus petite.

Résistance à la compression parallèle aux fibres

Selon les essais réalisés par la VTT avec des pièces de bois traitées pendant 3 heures à 195 °C, la résistance à la compression parallèle aux fibres dans le bois soumis au traitement thermique se trouve supérieure de 30% environ à celle du bois ordinaire non traité. Dans ce cas, les pièces à tester avaient été immergées dans l'eau avant le début de l'essai.

La résistance à la compression dépend principalement de la densité réelle du bois. Les essais ont montré que le procédé de traitement thermique ne produit aucun effet adverse sur les valeurs de la résistance à la compression. A l'heure actuelle, les résultats témoignent que ces valeurs sont meilleures que dans le bois non traité, même en cas d'utilisation de températures de traitement plus élevées (Figure 5-4).

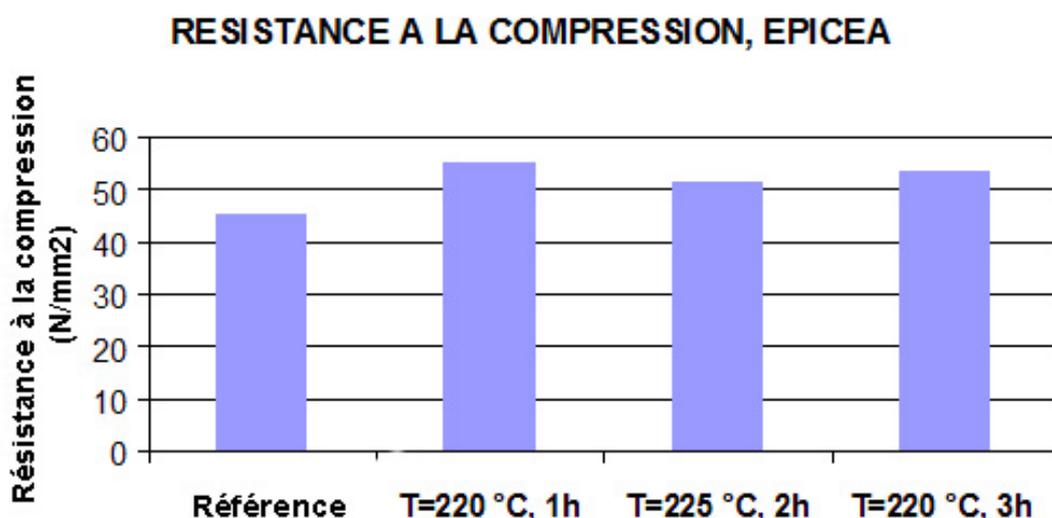


Figure 5-4. Résistance à la compression (N/mm²) du bois d'épicéa. Densité moyenne 420 kg/m³ (source: VTT)

Les essais montrent qu'à l'obtention de la charge de compression maximum, les pièces se désintègrent en sections de plus petite taille, mais ne se gondolent pas,

à la différence des pièces de bois ordinaire séchées au four. Ceci démontre bien clairement que les pièces de bois soumises au traitement ne sont pas si élastiques que celles séchées au four.

Résistance à la flexion sous l'impact (flexion dynamique)

On peut conclure des résultats des essais (CTBA) que la valeur de la résistance au choc du ThermoWood est moindre que celle des pièces de bois ordinaire séchées au four. En essayant le bois d'épicéa qui a été traité pendant 3 heures à 220 °C, on a trouvé que cette résistance était réduite de 25 pour cent environ.

Résistance au cisaillement

Les essais ont été conduits (par la VTT) en effectuant les mesures dans les deux directions: radiale et tangentielle. On a constaté qu'en cas de traitement à des températures plus élevées (230 °C pendant 4 heures), les propriétés de résistance étaient dégradées de 1 à 25% pour les essais radiaux et de 1 à 40%, pour les essais tangentiels. Cependant, le traitement à des températures plus basses (190 °C) n'a exercé qu'une influence très faible sur le bois de pin, tandis que l'épicéa a montré une réduction de 1 à 20% aussi bien en tests radiaux que tangentiels.

Résistance au fendage

Les essais de fendage ont été menés à l'Institut des Technologies Environnementales avec le bois d'épicéa, de pin et de bouleau dans une gamme assez large des températures de traitement. On peut conclure des résultats de ces essais que la résistance au fendage est réduite de 30 à 40% et que cette réduction se trouve plus grande en cas de traitement à des températures plus élevées.

4.2.3. Dureté

On a testé la dureté de Brinell en conformité avec prEN 1534. Les résultats montrent que la dureté croît avec l'élévation de la température de traitement (Figure 6-4). Toutefois, le changement relatif est très faible et, par conséquent, n'a en pratique aucun effet. Comme pour toutes les espèces de bois, la dureté de Brinell dépend dans une forte mesure de la densité.

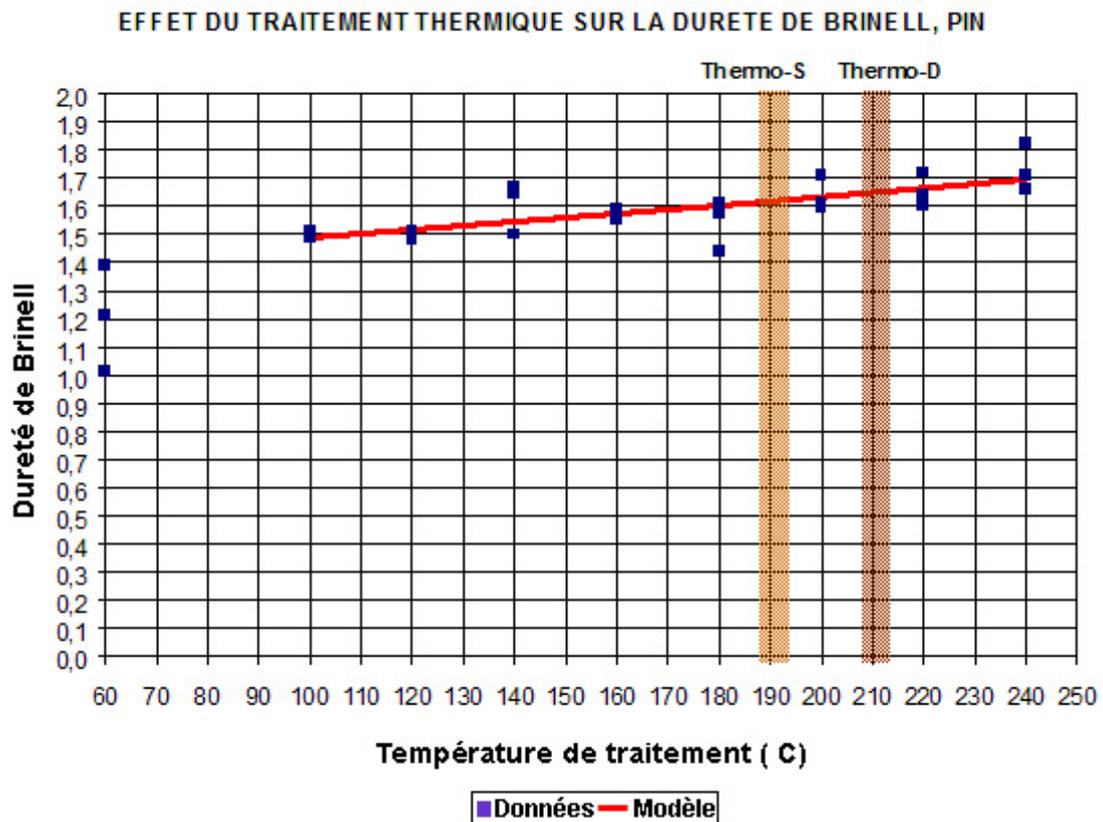


Figure 6-4. Effet du traitement thermique sur la dureté de Brinell du bois de pin. Durée de traitement: 3 heures (source: VTT)

4.2.4. Teneur en humidité équilibrée

Le traitement thermique du bois amène à la réduction de sa teneur en humidité équilibrée. On avait procédé à la comparaison entre le bois soumis au traitement thermique et le bois ordinaire non traité aux valeurs différentes de l'humidité relative.

Le traitement thermique réduit nettement la teneur du bois en humidité équilibrée à un tel point qu'aux températures élevées (220 °C), cette teneur constitue à peu près la moitié de la valeur montrée par le bois non traité. La différence entre les valeurs de l'humidité du bois est d'autant plus grande que l'humidité relative est plus élevée. La figure ci-dessous illustre l'effet sur le matériau traité pendant 1 à 3 heures à 220-225 °C pour des humidités variables.

TENEUR EN HUMIDITE EQUILIBREE, EPICEA

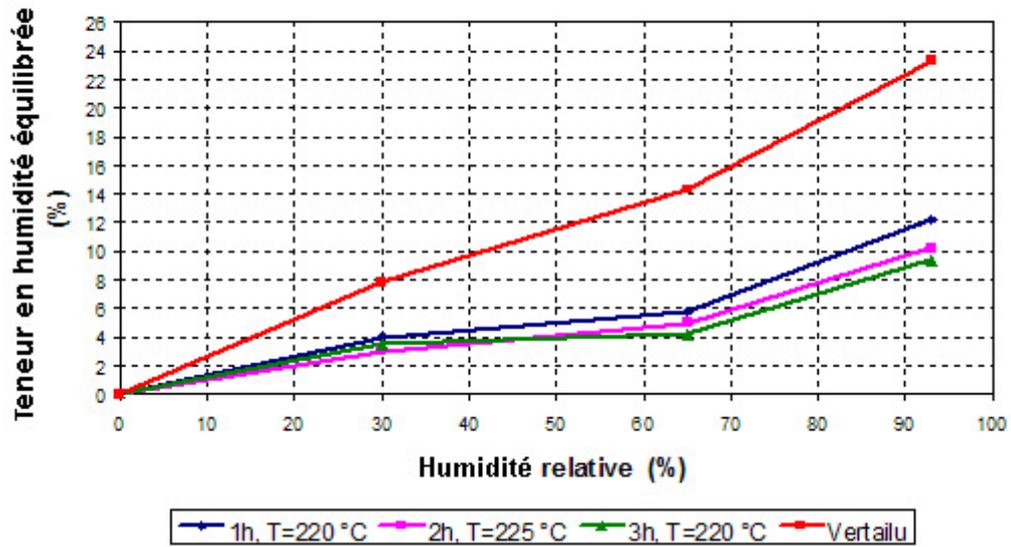


Figure 7-4. Effet de l'humidité relative sur la teneur en humidité du bois d'épicéa soumis au traitement thermique (source: VTT)

4.2.5. Gonflement et retrait dus à l'humidité

Le traitement thermique réduit considérablement le gonflement tangentiel et radial (Figures 8-4 et 9-4).

GONFLEMENT RADIAL, EPICEA

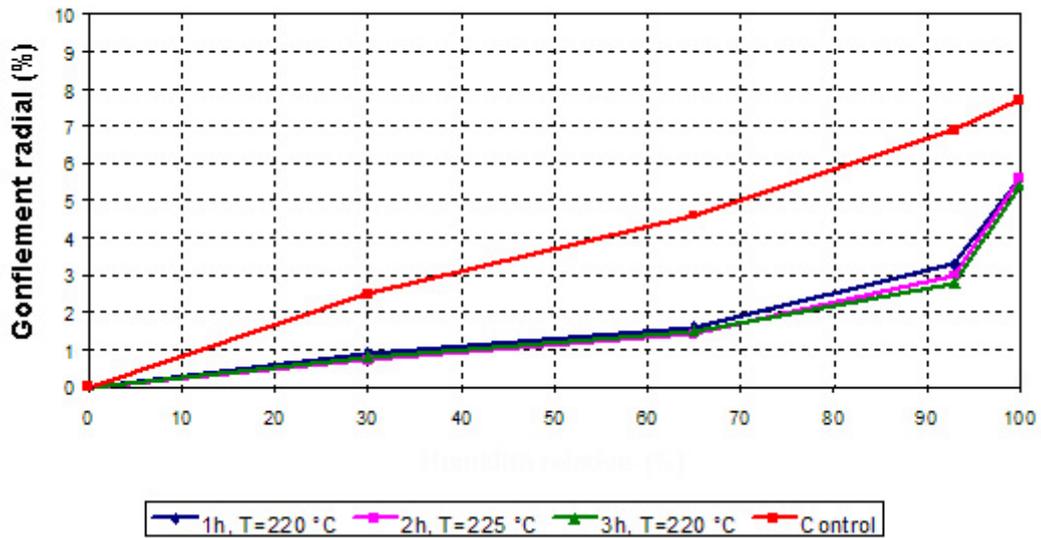


Figure 8-4. Gonflement radial du bois d'épicéa en fonction de l'humidité relative (source: VTT)

GONFLEMENT TANGENTIEL, EPICEA

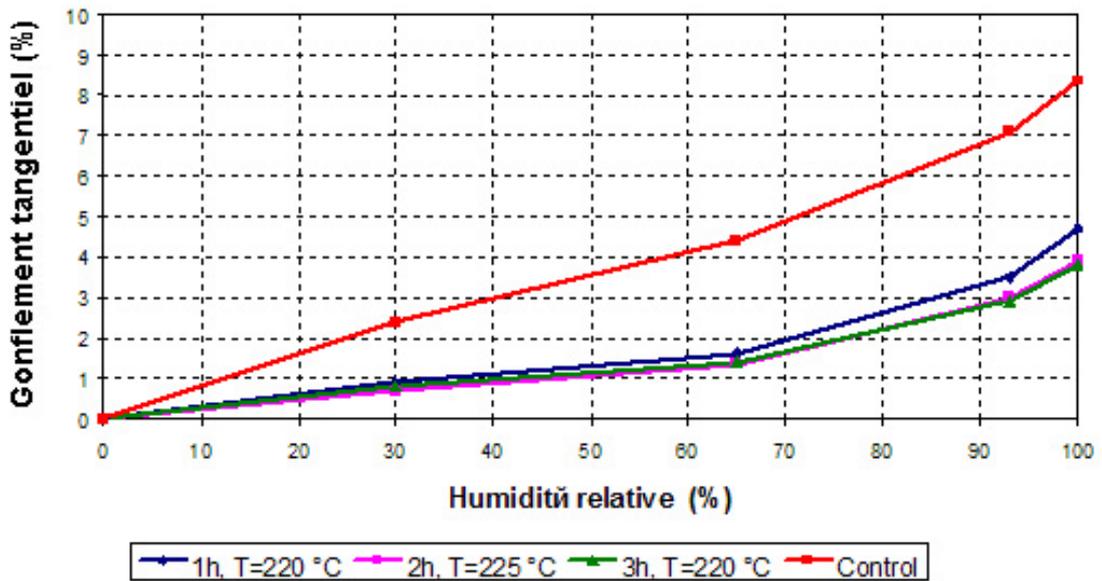


Figure 9-4. Gonflement tangentiel du bois d'épicéa en fonction de l'humidité relative (source: VTT)

L'effet du traitement thermique, en ce qui concerne le gonflement et le retrait du bois, a été montré d'une façon bien évidente en relation au gondolage transversal du produit fini. Suivant les essais conduits à la VTT, le bois soumis au traitement, aussi bien avec revêtement que sans celui-ci, conserve sa forme, alors que le bois traité au CCA et le bois non traité étaient atteints du gondolage transversal.

Contrairement aux pièces de bois en général, le bois soumis au traitement thermique ne souffre pas de tensions dues au séchage. Cela constitue un avantage bien évident qu'on peut voir p.ex. en fendant le matériau ou en fabriquant des articles de charpenterie. En outre, le gonflement et le retrait du bois sont vraiment insignifiants.

4.2.6. Perméabilité

La perméabilité à l'eau du bois soumis au traitement thermique a été essayé par CTBA en analysant la pénétration aux fibres en section transversale. Cette caractéristique devient d'une grande importance p.ex. pour les fenêtres. On immergeait les échantillons dans de l'eau déminéralisée, puis on les faisait séjourner dans un local avec une humidité relative de 65% et une température de 20 °C. Les échantillons étaient systématiquement pesés durant une période de 9 jours. On a pu donc conclure que dans une période assez courte, la perméabilité à l'eau du bois d'épicéa soumis au traitement thermique est de 20 à 30 pour cent plus basse que dans le cas du bois d'épicéa normal séché au four.

La VTT a aussi testé la perméabilité à la vapeur du bois soumis au traitement thermique en conformité avec EN 927-4. Les résultats sont reportés sur le diagramme qui suit (Figure 10-4).

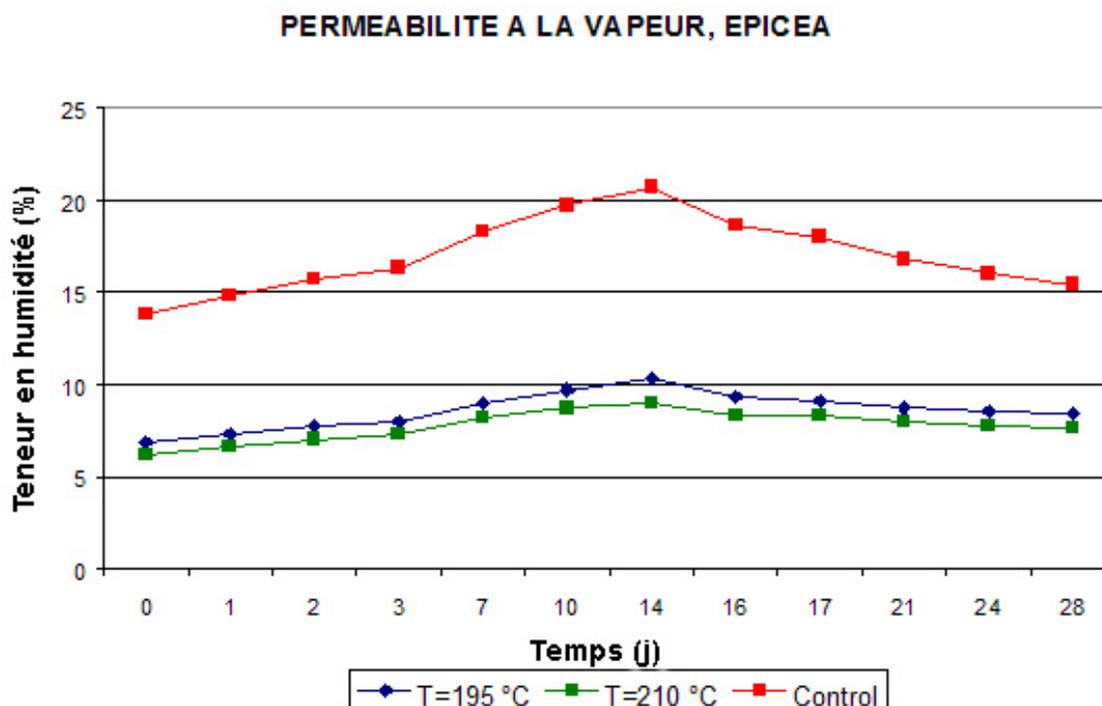


Figure 10-4. Effet du traitement thermique sur la perméabilité à la vapeur (source: VTT)

La perméabilité à l'eau a été également essayée par la VTT conformément à EN 927-5. On déterminait la perméabilité après avoir mouillé les pièces dans de l'eau pendant 72 heures, leur surfaces de bout étant scellées. Le bois d'épicéa non traité a montré une teneur en humidité de 22%, alors que celle du bois traité à 195 °C et 210 °C était égale, respectivement, à 12% et 10%.

4.2.7. Conductivité thermique

Des essais ont mis en évidence que la conductivité thermique du bois soumis au traitement thermique est réduite de 20 à 25% par rapport aux essences résineuses normales (Tableau 2-4). En conséquence, le produit ThermoWood s'adapte très bien à des applications telles que portes extérieures, panneautage, fenêtres et saunas.

Selon les essais conduits par la VTT, la conductivité thermique λ_{10} du ThermoWood rangé dans la classe Thermo-D est de 0,099 W/(m·K). La valeur correspondante mesurée sur les pièces de bois non traitées conformément à la Section 4 du Règlement finlandais sur la construction est de 0,12 W/(m·K).

Tableau 2-4. Conductivité thermique

Dimension (mm)	Temps de traitement à 230 °C (h)	Perte de poids (%)	Densité (kg/m ³)	Teneur en humidité (%)	Conductivité thermique λ_{10} W/(m·K)
Pin					
25 × 125	3	8,7	525	4,5	0,107
25 × 125	5	12,1	474	3,6	0,101
	0		505		0,130
Epicéa					
22 × 100	3	5,8	445	5,5	0,097
22 × 100	5	9,3	405	4,4	0,082
	0		432		0,110

4.2.8. Sécurité contre le feu

Test SBI (EN 13823)

La résistance au feu de produits de construction conformément aux nouvelles Euroclasses a été évaluée au moyen d'un test dit SBI (sigle des mots anglais Single Burning Item, "Élément singulier de brûlage"). Au cours de ce test, un spécimen composé de deux ailes verticales, formant entre elles un angle droit, est exposé à la flamme provenant d'un brûleur à gaz. La hauteur des ailes est de 1,5 m et leur largeur, de 0,5 et 1,0 m. Le brûleur à gaz placé dans la partie basse de l'angle représente un élément singulier de brûlage qui exerce un effet thermique sur le produit testé avec un maximum de 40 kW/m².

L'effet du traitement thermique sur VDC (vitesse de dégagement calorifique) est illustré sur la Figure 11-4. Le niveau de VDC pour le bois de pin soumis au traitement thermique était de 10 kW environ supérieur à celui du bois de pin non traité. L'accroissement anticipé de VDC vers la fin du test, montré par le spécimen qui n'a pas subi de traitement thermique, s'explique par son épaisseur plus faible. On a pu observer un accroissement de VDC d'environ 15% après traitement thermique. Il y a eu

aussi un quasi doublement de la production de fumée. De plus, le temps d'inflammation (basé sur un accroissement de VDC de 5 kW) était raccourci de 30%. On peut donc conclure que le traitement thermique fait dégrader, à ce qu'il paraît, les propriétés ignifuges du bois. Ce fait est lié probablement avec le dégagement de composés volatils au cours du traitement thermique. Bien que la température ayant lieu pendant le traitement ne soit pas voisine à celle d'ignition du bois, les constituants de celui-ci peuvent néanmoins se désintégrer graduellement. En conséquence, on est en présence d'une altération des propriétés du matériau, ce qui provoque une légère dégradation de la résistance au feu.

Le nombre de tests exécutés sur le ThermoWood a été trop petit pour pouvoir établir des valeurs exactes. Toutefois, on peut bien affirmer que le ThermoWood ne diffère pas de façon significative du bois ordinaire du point de vue de la sécurité contre le feu. Ce produit se range dans la classe D de danger d'incendie.

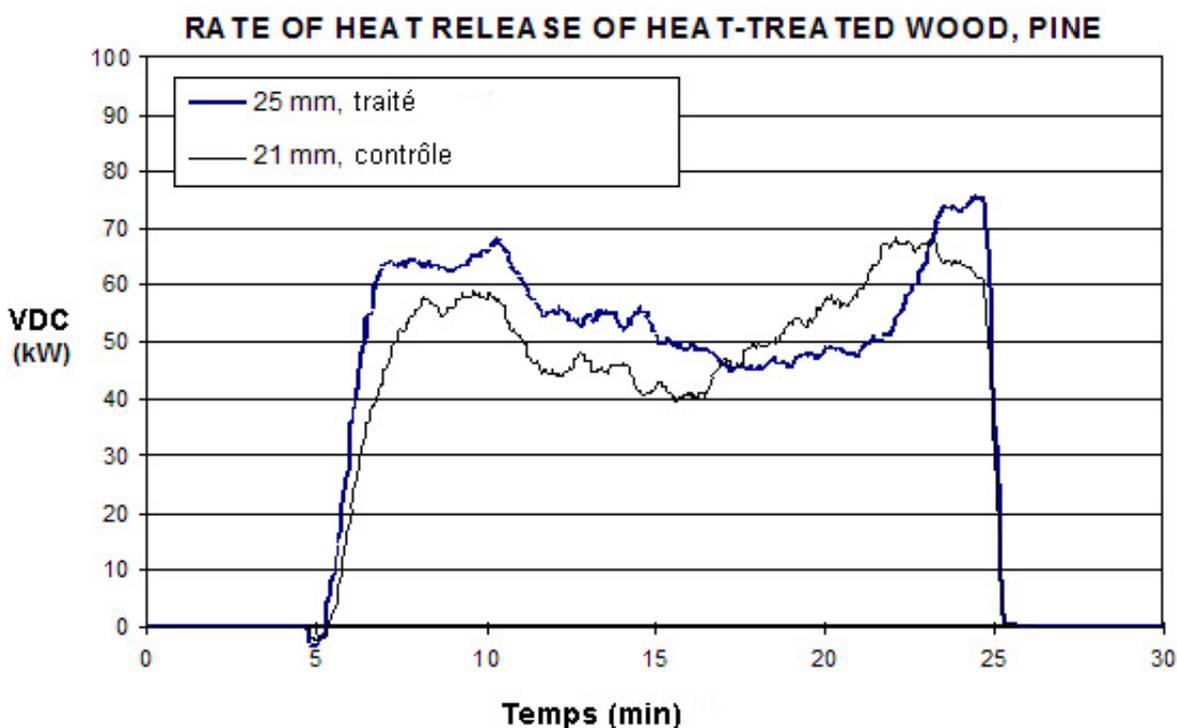


Figure 11-4. Vitesse de dégagement calorifique des spécimens du bois de pin soumis au traitement thermique (2/1) et non traité (3/1). L'épaisseur du spécimen était de 21 et 25 mm pour planches de pin non traitées et soumises au traitement thermique, respectivement.

Tableau 3-4. Brandsäkra Trähus – Fas 2: SBI résultats du test SBI pour produits à base du bois

Produit	Epaisseur (mm)	(W/s)	^{600s} (MJ)	(m ² /s ²)	^{600s} (m ²)
Epicéa	18	419	18,0	4	36,3
Pin (après traitement)	25	581	32,8	6	62,5
Pin	21	321	23,2	3	15,0
Pin (avec cavité de 22 mm)	21	329	22,3	4	35,5
Pin	15	361	26,6	4	17,5
Pin	45	587	23,9	12	54,4
Epicéa (tenon et mortaise), vertical	15	452	17,0	3	34,0
Epicéa (tenon et mortaise), horizontal	15	494	18,4	4	50,0
Contre-plaqué (épicéa)	12	596	15,8	3	45,0
Contre-plaqué (pin, superficiel)	12	437	16,6	1	21,0

Test ISO 5660

La VTT a essayé les propriétés ignifuges du ThermoWood en conformité avec ISO 5660. Le traitement thermique a conduit à un raccourcissement du temps d'inflammation des échantillons du bois de pin et d'épicéa (Tableaux 4-4 et 5-4) jusqu'aux valeurs égales à la moitié de celles du bois non traité. Pour les échantillons du bois de pin, la vitesse de dégagement calorifique (VDC) s'est réduite de 32%. D'autre part, les échantillons du bois d'épicéa non traités n'ont révélé aucune différence. La production de fumée, en comparaison avec les échantillons non traités, était faible tant avec ceux du bois de pin que d'épicéa.

Tableau 4-4. Test ISO 5660 sur calorimètre à cône, niveau du rayonnement 50 kW/m², pin

Dimension (mm)	Temps de traitement à 230 °C (h)	Perte de poids (%)	Temps d'inflammation (s)	VDC (60 s, moyen) (kW/m ²)	Fumée (m ² /kg)
50 × 150	5	7,2	12	137	180
50 × 150	8	11,8	13	136	47
50 × 150	10	14,4	16	160	120
50 × 150	0		19 à 25	150 à 200	25 à 100 (200)

Tableau 5-4. Test ISO 5660 sur calorimètre à cône, niveau du rayonnement 25 kW/m², épicéa

Dimension (mm)	Temps de traitement à 230 °C (h)	Temps d'inflammation (s)	VDC (60 s, moyen) (kW/m ²)	Fumée (m ² /kg)
50 × 150	8	97	112	21
50 × 150	0	193	113	72

Test suivant la norme NF B 52501

La CTBA a effectué des essais conformément à la norme NF B 52501. Tous les échantillons étudiés peuvent être rangés dans la classe M₃. Comme les essais l'ont montré, il convient de considérer la résistance au feu du bois soumis au traitement thermique égale à celle du bois non traité d'espèces correspondantes.

Test suivant la norme britannique "Propagation de la flamme en surface", BS 476, Partie 7

Un nombre très limité de pièces de bois de pin et d'épicéa ont été testées à 210 °C au Royaume Uni en conformité avec la norme BS 476, Partie 7, se référant à la propagation de la flamme en surface, Classe 1. Les résultats montrent que les deux espèces thermiquement traitées ont atteint les caractéristiques propres à la classe 4, les performances standard pour le bois traité selon les méthodes conventionnelles étant rangées dans la classe 3. A noter que le bois soumis au traitement thermique a dépassé la limite de la classe 3 dans le courant de la première minute.

Etant donné le nombre très petit de pièces à tester, on peut conclure qu'il n'est pas possible de se confier aux résultats précités, de sorte que des essais plus approfondis

s'imposent avec traitement du matériau à des températures et teneurs en humidité variables. Les tests BS et, donc, les résultats correspondants ont été concentrés uniquement sur la vitesse de propagation de la flamme, alors que cet élément ne constitue qu'une part de la procédure d'essais prévue par les nouvelles normes EN. Le bois soumis au traitement thermique se caractérise par un temps d'inflammation nettement inférieur; en revanche, il manifeste meilleures propriétés, par rapport aux essences résineuses séchées selon la méthode traditionnelle, en ce qui concerne le dégagement de la chaleur et de la fumée.

Performances du ThermoWood en relation avec le Règlement finlandais sur la construction

Les exigences de sécurité incendie imposées aux structures et aux produits les constituant sont définies dans la Section E1 "Sécurité incendie des structures de bâtiments", 1997, du Règlement finlandais sur la construction. Le calcul des structures compte tenu du danger d'incendie s'effectue conformément aux dispositions de la Section B1 "Sécurité des structures et leurs sollicitations", 1998, et de la Section B10 "Structures en bois", 1983, modifiée en 1990, du Règlement finlandais sur la construction.

Les méthodes d'essais et les critères d'acceptation utilisés pour définir les caractéristiques de réaction au feu des matériaux, éléments et dispositifs de construction sont présentés dans le document 'Ympäristöopas 35 1998, Rakennustuotteiden palotekninen hyväksyntä' (Recommandations environnementales, 1998; Acceptation de produits de construction en partant des critères de la lutte contre incendie) publié par le Ministère de l'Environnement.

On peut donc considérer le ThermoWood comme un produit satisfaisant aux exigences d'inflammabilité, Classe 2, stipulées dans l'édition susmentionnée.

4.2.9. Endurance biologique

La VTT a conduit trois essais pour déterminer l'endurance biologique des pièces de bois soumises au traitement thermique. On agissait en conformité avec la norme EN 113, observant un temps de putréfaction égal à 16 semaines. En outre, on a procédé à une modification du test EN 113, en accélérant l'essai grâce à l'emploi de pièces à tester moins grandes et un temps de putréfaction plus court (6 semaines). Un troisième essai a été également entrepris en contact avec le sol conformément à ENV 807, les durées d'essais étant de 8, 16, 24 et 32 semaines. On a utilisé, en qualité de champignons d'essai, *Coniophora puteana* et *Poria placenta*, car celles-ci sont considérées comme les espèces les plus répandues et problématiques.

Les résultats ont permis de mettre en évidence une capacité remarquable du bois thermiquement traité de résister à la putréfaction due à la pourriture brune. Si l'on compare la résistance aux deux espèces de champignons, le bois soumis au traitement thermique a manifesté des résultats différents. Une température de traitement plus élevée a été nécessaire au bois pour obtenir la résistance maximum à *Poria placenta* par rapport à celle assurant la résistance à *Coniophora puteana* (Figure 12-4).

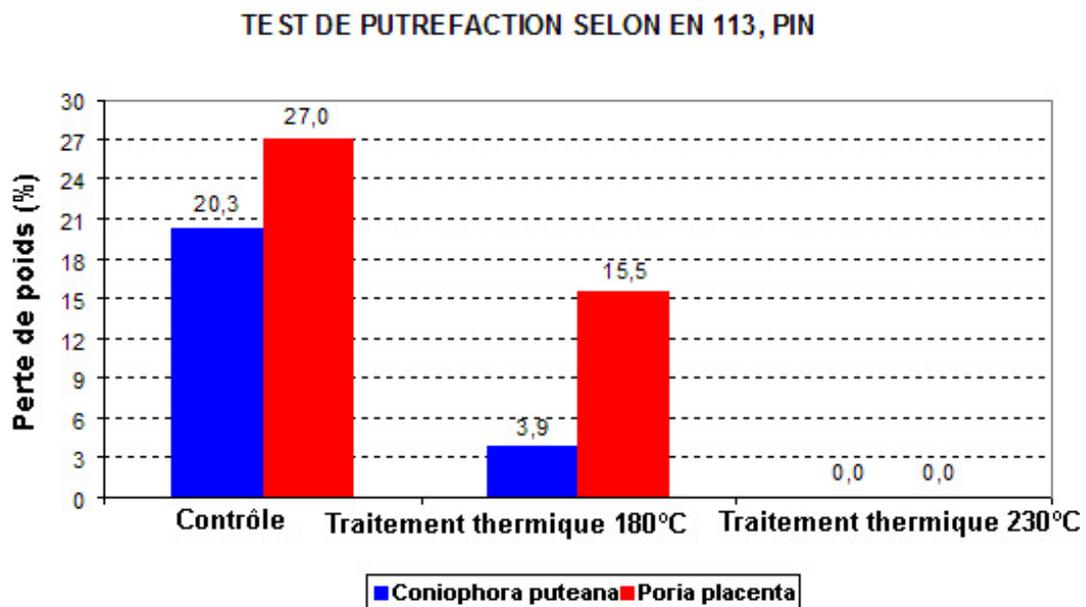


Figure 12-4. Effet du traitement thermique sur la putréfaction due à la pourriture brune au cours d'un test EN 113 modifié. Bois de pin thermiquement traité, durée de traitement de 4 heures (source: VTT)

L'essai de résistance biologique suivant EN 113 a permis de révéler une endurance très satisfaisante en fonction de la température et la durée de traitement. Afin que le traitement du bois permette de satisfaire aux exigences de la Classe 1 ("hautement endurant"), des températures de plus de 220 °C pendant 3 heures sont nécessaires et pour obtenir le statut de la Classe 2 ("endurant"), les résultats voulus sont atteints à des températures de l'ordre de 210 °C (Figure 13-4).

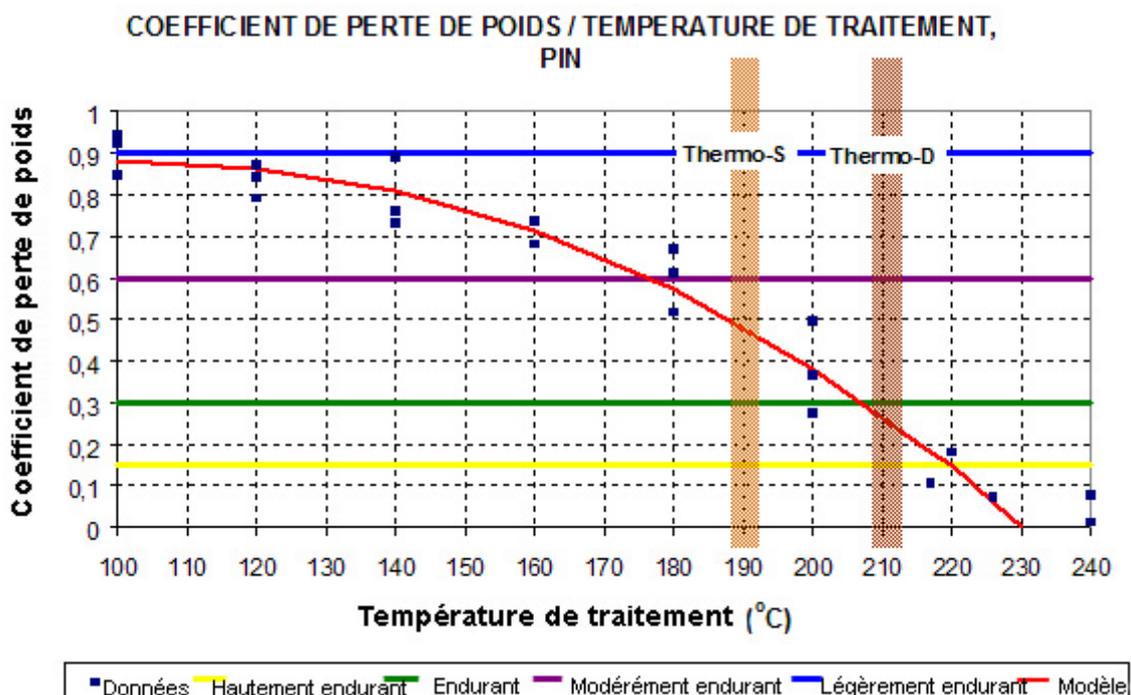


Figure 13-4. Effet de la température sur le coefficient de perte de poids. Pin, durée de traitement de 3 heures. Norme EN 350-1. Endurance naturelle (source: VTT)

En se basant sur les résultats de l'essai *in situ* (EN 252), nous **recommandons de ne pas utiliser le produit ThermoWood en conditions de grande profondeur sous le sol, si l'on cherche à obtenir de bonnes performances structurales.**

On peut supposer que la perte de résistance indiquée ci-dessus est due à l'humidité, et non à un micro-organisme quelconque. Les raisons expliquant ce phénomène ne pourront être trouvées qu'en procédant à une étude supplémentaire. Cependant, l'expérience pratique a permis de révéler que l'emploi du matériau Thermo-D en contact avec le sol, en conditions où l'obtention de bonnes performances structurales n'est pas critique et un séchage périodique des surfaces est admis, ne provoque aucune détérioration marquée d'un tel matériau. Ceci devient surtout apparent lorsqu'il est prévu un drainage efficace du sol et que ce dernier est constitué de sable ou de galet.

4.2.10. Résistance aux insectes

La CTBA a effectué des essais en France. On trouve des capricornes dans l'aubier des essences résineuses. Quant aux essences feuillues, elles sont attaquées en particulier par l'anobie ponctué (*Anobium punctatum*). En outre, *Lyctus Bruneus* a été trouvé dans certaines essences feuillues. Comme les essais l'ont révélé, le ThermoWood était résistant à tous les trois espèces d'insectes susmentionnées.

Des essais conduits à l'Université de Kuopio ont également montré que le ThermoWood manifeste une bonne résistance aux capricornes. On conclut dans le rapport que ces insectes reconnaissent le pin, en raison de ses émissions de terpènes, pour une place convenable à la ponte. Or, attendu que lesdites émissions sont brusquement réduites en cas du ThermoWood en comparaison avec le bois ordinaire (voir Section 4.2.13), on peut s'attendre que les insectes vont choisir ce dernier, quand c'est possible, plutôt que le ThermoWood. Suivant le rapport, les mêmes conclusions peuvent être appliquées aux termites, bien qu'il soit nécessaire de procéder à de nouveaux tests en la matière.



Figure 14-4. Capricorne et une larve dans le ThermoWood objet de l'essai (photos prises par M. Jarmo Holopainen de l'Université de Kuopio)

Quant aux termites, ce problème est actuellement plus apparent dans les localités de l'hémisphère austral, mais il faut avouer que ces insectes se sont déjà propagés jusqu'en France et, encore davantage, on communique les cas qui ont eu lieu plus au nord de l'Europe. Les termites attaquent les bâtiments depuis le sol qui est en dessous, en évitant, dans la mesure du possible, la lumière solaire directe. En quête de la nourriture, ils rongent aussi bien le bois que des matériaux à base du béton. On a mis au point diverses mesures pour faire face à ce problème, dont l'emploi de membranes de polyéthylène qu'on installe dans les fondations d'édifices. De plus, sont disponibles divers produits à base de peintures bitumineuses permettant de sceller toutes voies possibles jusqu'au bâtiment. A l'heure actuelle, les résultats d'essais montrent que le ThermoWood est incapable de résister à l'attaque des termites. Néanmoins, on recommande de procéder à des essais locaux, car les types de ces insectes varient d'une région à l'autre. En outre, des investigations ultérieures à ce sujet s'imposent.

4.2.11. Résistance aux intempéries

Résistance aux intempéries en cas d'absence de traitement en surface

Pluie

Divers essais ont été conduits en vue d'étudier la résistance du ThermoWood à l'altération sous l'effet des intempéries. Le matériau traité à 225 °C pendant 6 heures avait la teneur en humidité égale à peu près à la moitié de celle du bois non traité, et cette différence persistait après cinq années d'exposition. Le diagramme ci-dessous illustre l'évolution de la teneur en humidité en conditions du temps naturelles pour le bois non traité, le ThermoWood et le bois traité au CCA.

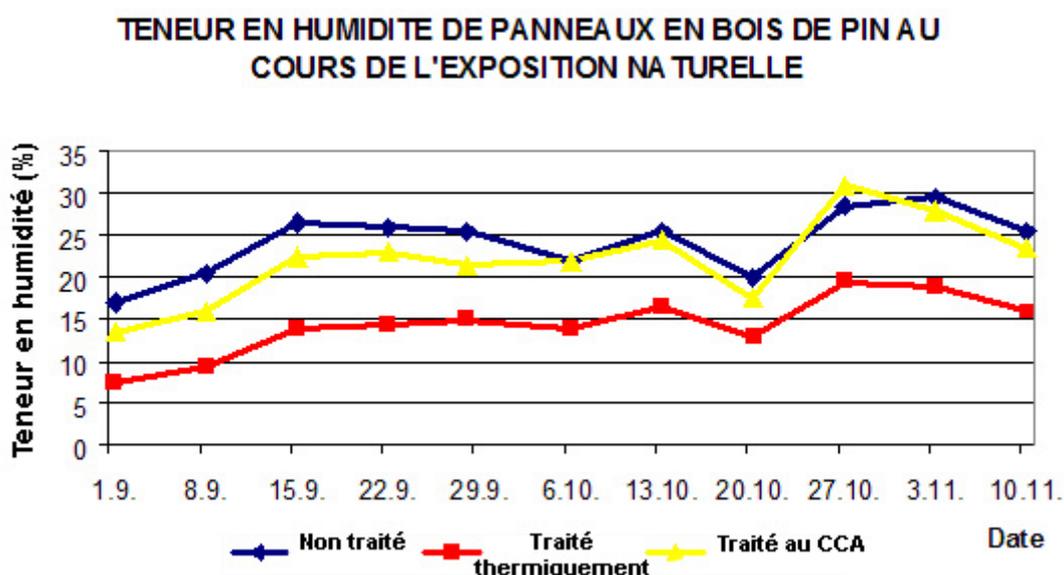


Figure 15-4. Teneur en humidité de panneaux rabotés en bois de pin au cours de l'exposition naturelle, 1994 (source: VTT)

De même qu'avec tous les matériaux exposés à l'action de l'environnement naturel, la croissance de la moisissure superficielle peut avoir lieu dans le ThermoWood. En outre, en raison de la présence des bactéries dans l'air ou dans la boue portée avec la pluie, la croissance de champignons est possible sur la surface non traitée. Cependant, ces phénomènes ne sont observés que sur la surface, de sorte qu'on peut les supprimer en essuyant ou en grattant la surface atteinte.

la lumière solaire

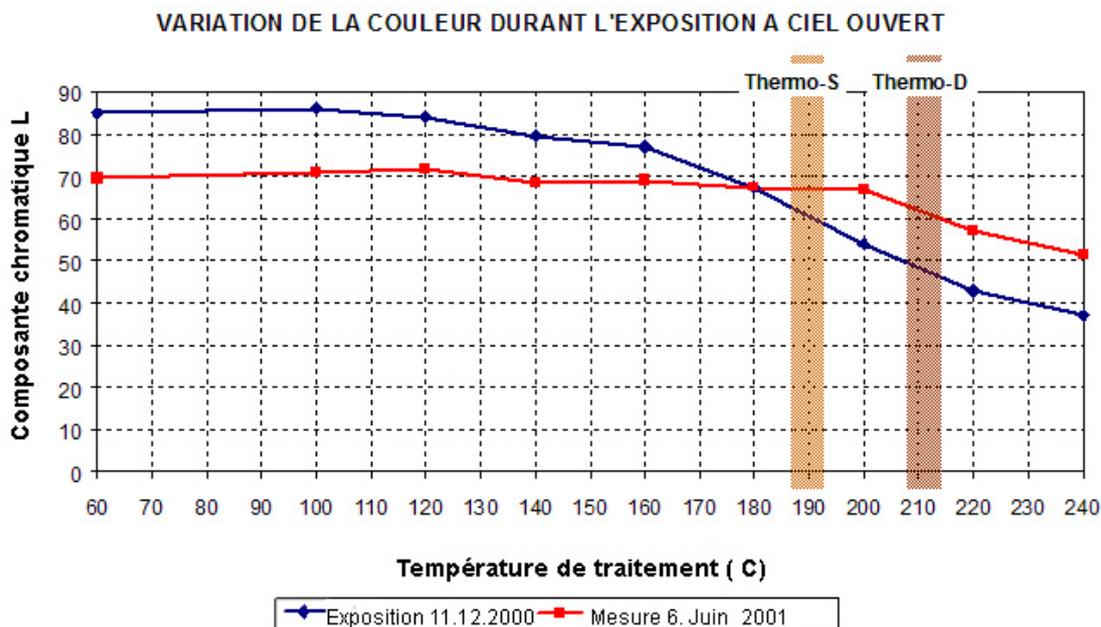


Figure 16-4. Effet de la température de traitement thermique sur les variations de la couleur dues à l'exposition à ciel ouvert. Pin, temps de traitement de 3 heures (source: VTT)

On a entrepris des essais sur le terrain pour mesurer la résistance du ThermoWood à l'action de la lumière solaire (rayonnement ultraviolet). De même qu'avec la plupart des matériaux naturels, le ThermoWood n'est pas capable de résister au rayonnement UV. En conséquence, sa couleur change, pendant une certaine période de temps, de la teinte brune originale à la teinte grise altérée sous l'effet de l'exposition à lumière solaire directe. Le diagramme ci-dessus montre la variation de la composante chromatique L durant la période de six mois. La couleur originale du ThermoWood peut être conservée à l'aide de substances conservatrices pigmentées ou celles destinées à la protection contre les rayons UV.

Bien que la teneur en humidité, ainsi que le gonflement et le retrait dus à l'humidité soient réduits dans une grande mesure grâce au ThermoWood, le rayonnement ultraviolet provoque l'apparition de fentes superficielles sur les panneaux non recouverts quand ils sont exposés. Or, on a pu constater les signes d'amélioration de la situation dans le ThermoWood, en ce qui concerne les fentes superficielles, par rapport au matériau de contrôle non traité en cas d'utilisation de températures plus élevées (Figure 17-4).

L'effet du procédé de traitement thermique sur les fentes superficielles et la croissance de champignons est illustré sur le diagramme ci-après. On a classé les fentes comme suit:

- taille (0-5):
 - 0 pas de fentes
 - 1 fente visible à la loupe à grossissement de 10
 - 2 fente visible à l'œil nu
 - 3 fente décelable très distinctement

- 4 fentes à largeur de moins de 1 mm
- 5 grandes fentes à largeur de plus de 1 mm

- densité (0-5):

- 1 une seule fente
- 5 la surface est pleine de fentes

EFFET DE LA TEMPERATURE DE TRAITEMENT THERMIQUE SUR LES FENTES ET LA CROISSANCE DE LA MOISSISURE SUPERFICIELLE

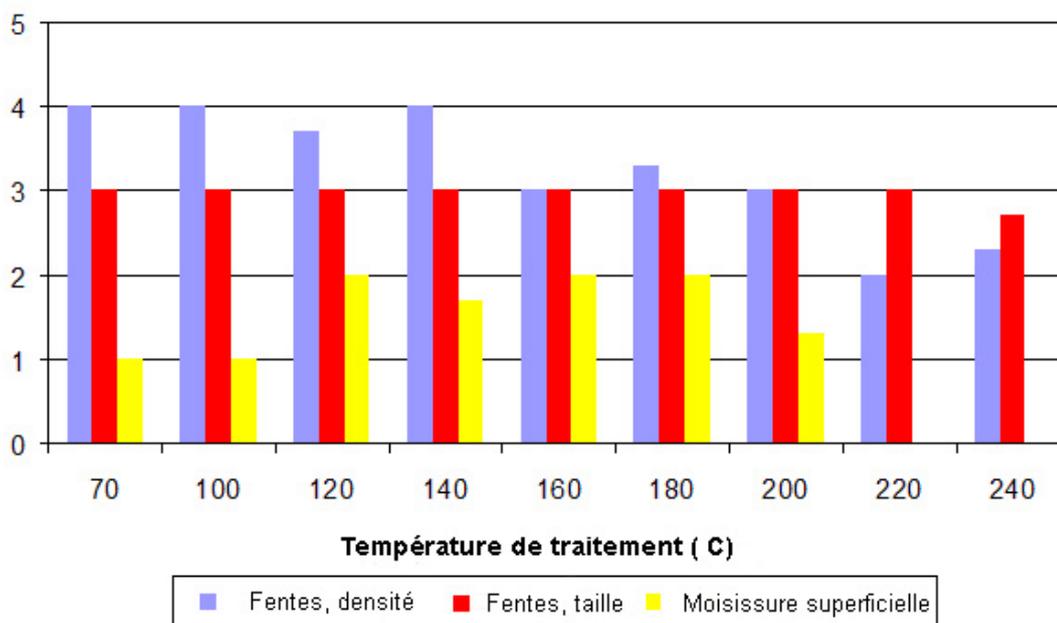


Figure 17-4. Effet de la température de traitement thermique sur les fentes superficielles et la croissance de champignons dans les panneaux en bois de pin. Temps de traitement de 3 heures. Temps d'exposition à ciel ouvert de 6 mois (source: VTT)

L'effet de la lumière solaire (rayonnement ultraviolet) permet de conclure d'une façon évidente que grâce à l'application de revêtements superficiels contenant un pigment, le ThermoWood devient très performant en ce qui concerne les fentes superficielles. Nous conseillons donc vivement de procéder à un traitement en surface.

Résistance aux intempéries du ThermoWood soumis au traitement en surface

La VTT a effectué des essais *in situ* avec exposition à ciel ouvert pendant cinq années pour étudier la performance des revêtements superficiels du ThermoWood en la comparant avec celle du bois non traité. Les panneaux ont été classés visuellement en conformité avec la série ISO 4628 durant l'exposition aux intempéries.

On a pu donc constater que la teneur en humidité du ThermoWood constituait environ la moitié de celle du bois non traité. Les peintures sans pigment ou petit teint et les huiles ne protègent ni le ThermoWood ni le bois non traité. Ces revêtements s'usaient, de sorte que les anneaux annuels commençaient à se ramollir, tout comme dans les

panneaux non revêtus. De plus, les panneaux couverts de colorants petit teint avaient montré une forte tendance à la fissuration.

L'effet du substrat ThermoWood sur les caractéristiques de la peinture de menuiserie a été observé après cinq ans d'exposition. La peinture acrylique durcissant à l'acide et soluble dans l'eau a montré une meilleure performance pour les panneaux soumis au traitement thermique que pour ceux non traités. Les panneaux revêtus de ces peintures ne souffraient pas d'écaillage sur le substrat ThermoWood (Figure 18-4).

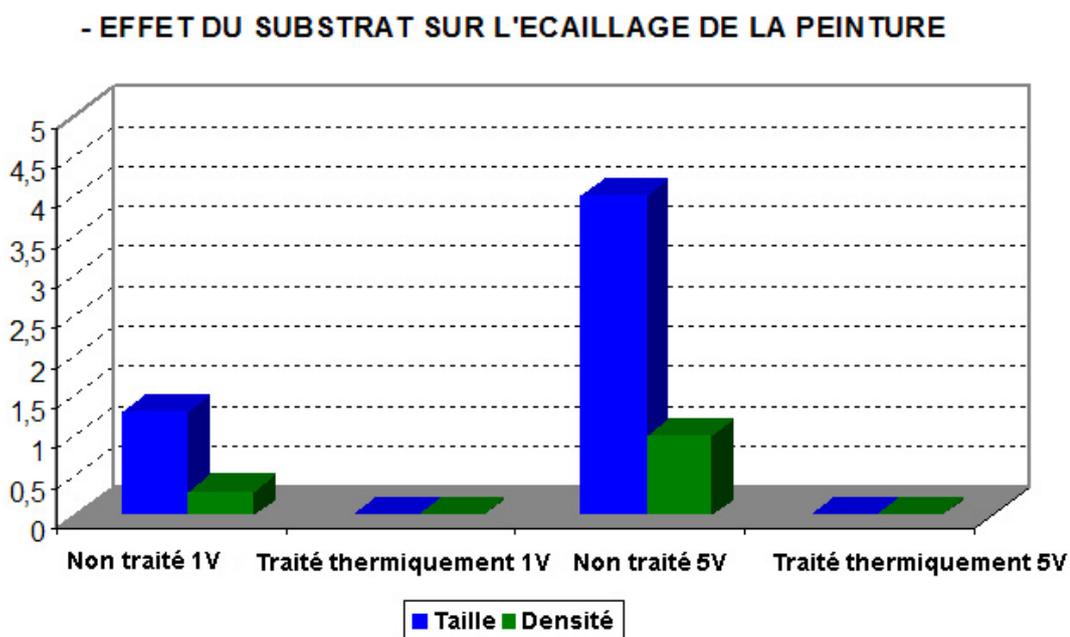


Figure 18-4. Effet du substrat sur l'écaillage de la peinture hydrosoluble sur le bois de pin (source: VTT)

Les peintures des parois extérieures se sont bien comportées aussi bien sur le ThermoWood que sur un substrat non traité, de sorte qu'il a été impossible de déceler un effet significatif quelconque. Les résultats indiquent que les meilleures compositions de revêtement pour le ThermoWood consistent en une huile d'apprêt et une couche externe d'alkyd à base de solvant ou d'acrylique hydrosoluble.

4.2.12. Couleur

La couleur du ThermoWood est influencée par la température et le temps de traitement. Plus haute est la température, et plus sombre est l'aspect extérieur. De même qu'avec toutes les essences résineuses, la consistance de la couleur est affectée par la variation normale due à la densité et en outre, elle peut être différente suivant qu'on utilise le bois initial ou final. En principe, la couleur peut bien être reproduite au cours du processus et est mesurée au moyen de la composante L. La possibilité d'intégrer la mesure de la valeur de la composante L aux critères du contrôle de la qualité du procédé est aujourd'hui en train d'être étudiée.

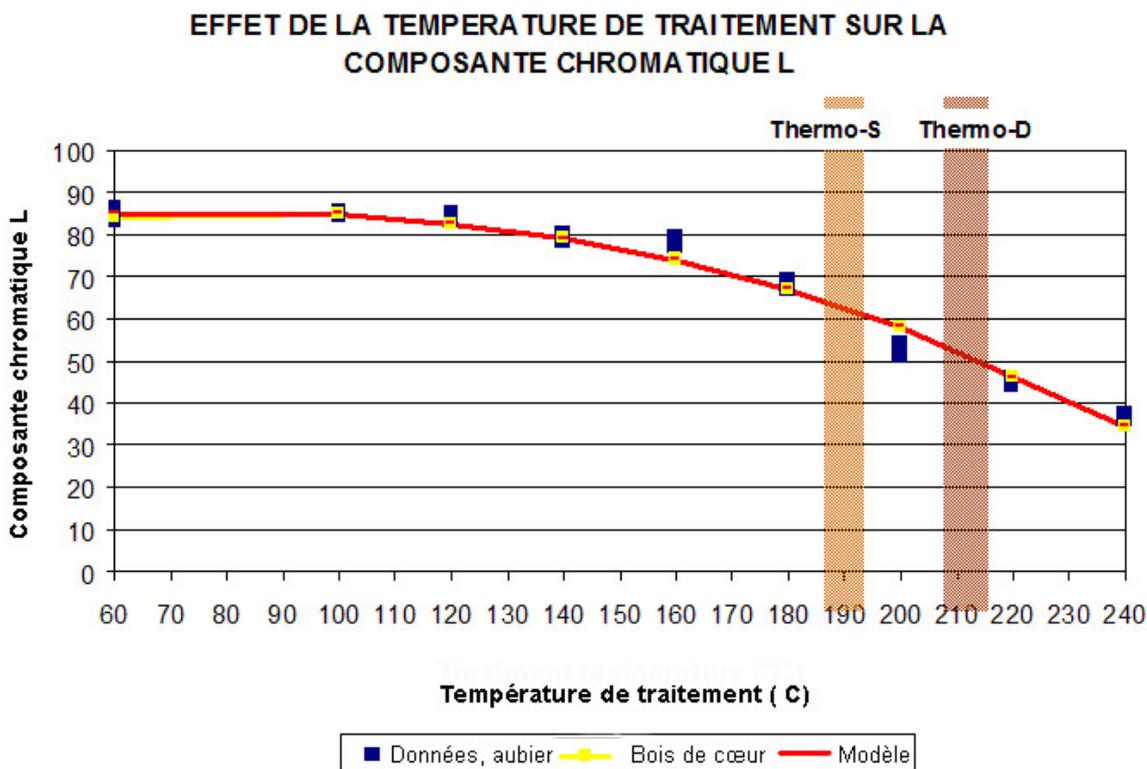


Figure 19-4. Effet de la température de traitement thermique sur la composante chromatique L. Planches en bois de pin, temps de traitement de 3 heures (source: VTT)

La photo ci-dessous illustre les couleurs des planches en bois de pin à températures différentes.

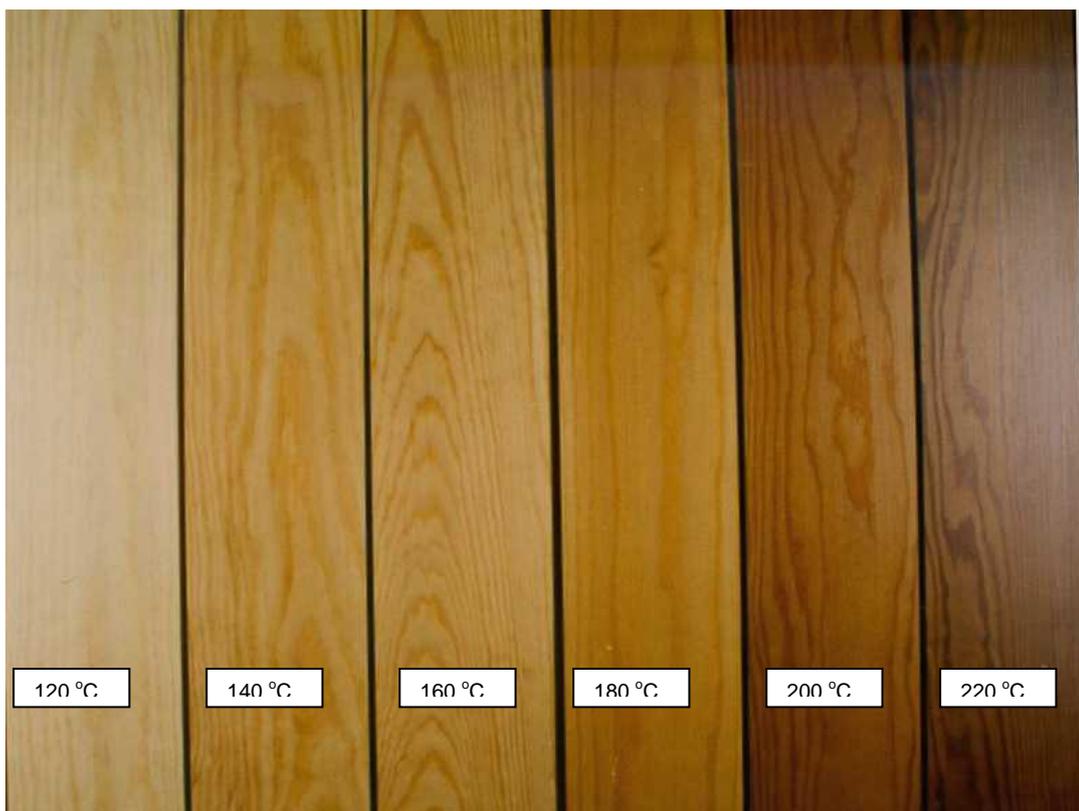


Figure 20-4. Couleur du bois de pin soumis au traitement thermique. Températures de traitement de 120 à 220 °C aux intervalles de 20 °C. Temps de traitement (photo: VTT)

4.2.13. Emissions

On mesurait les émissions produites par des planches en bois de pin thermiquement traitées. On soumettait les échantillons au traitement thermique à 180 et 230 °C pendant 4 heures. L'essai était conduit durant 7 semaines (180 °C) ou 8 semaines (230 °C) après le traitement.

Les mesures des émissions ont été effectuées dans le département de technologie chimique de la VTT en conformité avec la méthode d'essai KET 3300495. Le bois de pin non traité a manifesté la plus grande quantité de composés organiques volatiles, 1486 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$. La plupart de ceux-ci consistaient en terpènes; en outre, on a trouvé des quantités significatives d'alpha-pinène, de camphène et de limonène. Le bois de pin non traité contenait également l'hexanal et des quantités faibles de furfural et d'acide acétique.

L'émission totale du bois de pin soumis au traitement thermique à 180 °C était de 828 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$. L'échantillon contenait les terpènes, les furfuraux, l'hexanal et l'acide acétique. L'émission totale du bois de pin soumis au traitement thermique à 230 °C était la plus basse, au niveau de 235 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$. Elle consistait principalement en acide acétique (110 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$). Cet échantillon ne contenait que des quantités insignifiantes de terpènes. Ces émissions sont présentées Figure 21-4.

COMPOSES ORGANIQUES VOLATILES EMIS DES ECHANTILLONS DU BOIS DE PIN

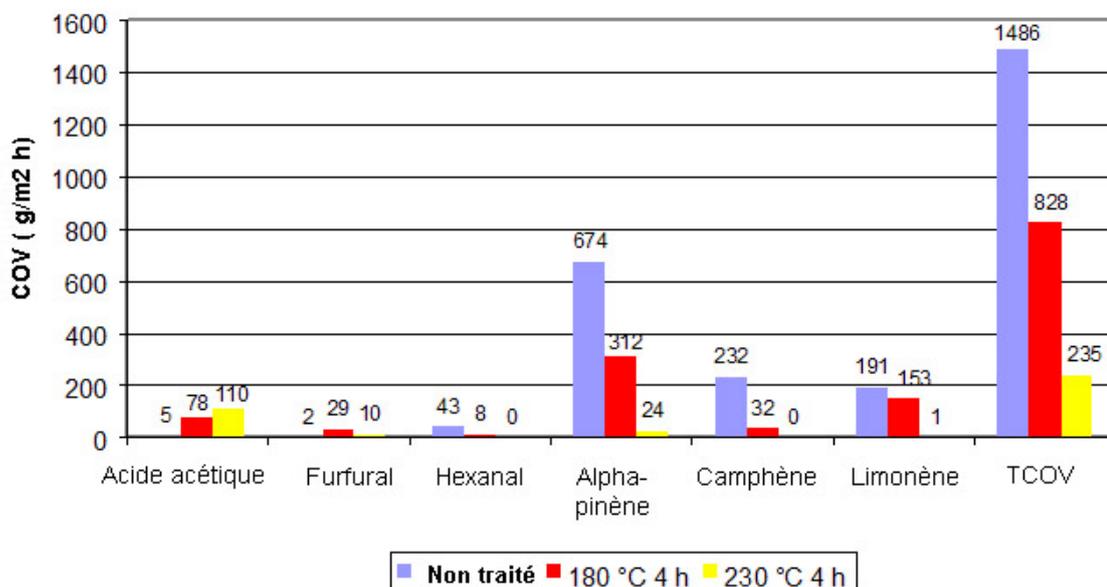


Figure 21-4. Composés organiques volatiles émis des échantillons du bois de pin, âge de 2 mois (source: VTT)

L'odeur du bois thermiquement traité semblable à celle de la fumée provient, le plus probablement, du furfural. Les résultats des essais concernant l'odeur ne sont pas encore publiés. On a constaté que l'odeur disparaît avec le temps et qu'après l'application de revêtements superficiels, elle s'élimine.

5. Travail avec le ThermoWood en entreprises industrielles

5.1. Généralités

En principe, la manipulation du ThermoWood nécessite un peu plus de soin que celui du bois ordinaire des essences résineuses séché au four, car il est plus sujet aux endommagements mécaniques quand il est soumis à un traitement supplémentaire. On recommande de procéder aux mêmes procédures de manipulation qu'en cas de travail avec les essences feuillues. En travaillant avec le ThermoWood, il est préférable de se servir surtout d'outils bien affûtés. De même que pour le travail avec toutes sortes de matériaux en bois, les résultats sont meilleurs si l'on prévoit le préconditionnement de la teneur en humidité en relation avec l'humidité relative du site.

5.2. Sciage

Puisque les tensions internes du bois sont relâchées au cours du processus adéquat de traitement thermique, on n'observe aucune distorsion après le fendage des pièces.

Etant donné que le ThermoWood ne contient pas de résines, la demande d'énergie des équipements de coupe se voit réduite et leur durée de vie devient beaucoup plus longue.

Le sciage du ThermoWood ne diffère pas de celui du bois non traité. En cas de présence de nœuds, on ne distingue aucune déchirure particulière en comparaison avec le bois des essences résineuses normalement séché au four. Le seul problème qu'on a rencontré jusqu'ici en matière de sciage consiste en la poussière de bois. Compte tenu du fait que le ThermoWood est très sec, la poussière s'avère extrêmement fine, de sorte qu'elle se disperse aisément dans le milieu ambiant.

Pour les raisons susmentionnées, on doit prêter l'attention particulière au fonctionnement d'un système de captage des poussières. Un tel système doit être bien scellé et suffisamment efficace.

Comme les lames de scie avec denture à pas long peuvent causer le fendage aux bords des pièces ThermoWood, il est conseillé de servir de lames avec denture à pas court. La fréquence d'entretiens techniques et d'affûtages peut être réduite grâce à des lames aux embouts renforçants en carbure ou similaire.

5.3. Rabotage

Par suite du procédé de traitement thermique du ThermoWood, il peut se produire le gondolement transversal des pièces, bien que, comme décrit dans le chapitre consacré à la traction et à la contraction du bois sous l'effet de l'humidité, les mouvements après traitement soient très limités. Etant donné le danger d'un tel gondolement, nous recommandons qu'en cas de rabotage de pièces de bois qui n'ont pas été dédoublées avant rabotage, le rouleau d'avancement soit remplacé par un autre, doté de deux roues étroites, de façon que le contact avec la pièce ait lieu aux bords extérieurs de la face convexe (voir le schéma ci-dessous). En alternative, on peut utiliser une roue étroite unique, la pièce devant alors être orientée sa face convexe vers le bas. Les deux méthodes permettent d'obtenir une surface plate au fur et à mesure du passage de la pièce à travers la planeuse, ce qui réduit le risque de fissuration superficielle et donne la possibilité de travailler avec une pression plus élevée du rouleau d'avancement.

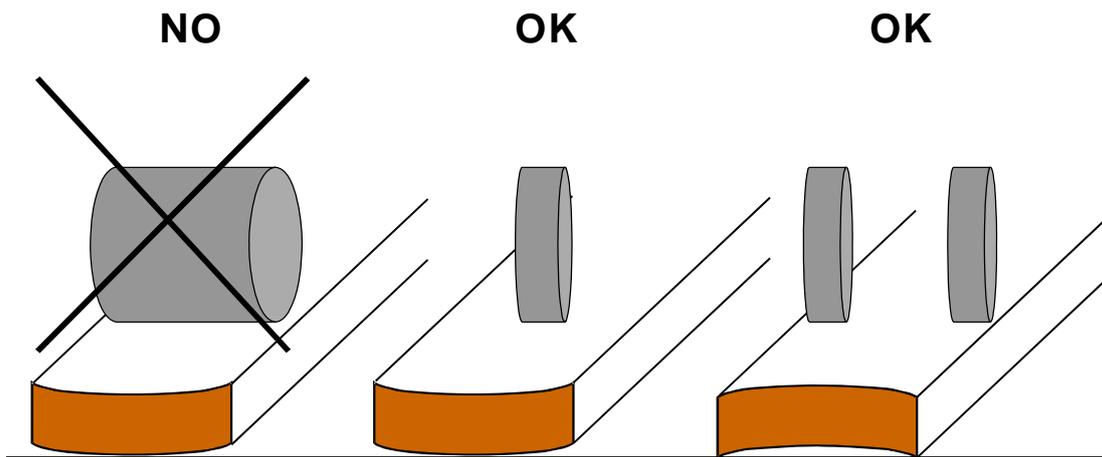


Figure 1-5. Rouleaux d'avancement recommandés pour éviter la fissuration des planches.

Pour éviter toute fissuration des planches, il est conseillé d'obtenir d'abord, avant le profilage, une surface de base plate au moyen d'une planeuse ou d'une scie à ruban. L'Université Polytechnique de Seinäjoki a conduit une série de tests en relation avec le rabotage du ThermoWood. On a essayé plusieurs angles d'attaque. Au cours de ces tests, tous les angles ont donné de bons résultats et la qualité de la surface a été également satisfaisante. Les meilleurs résultats sont atteints avec têtes de lame dotées d'embouts renforçants en carbure, de la même manière qu'en cas de travail avec types durs de bois.

On rapporte aussi que les pièces ThermoWood provoquent moins de friction pendant l'avancement et permettent de rendre le processus de rabotage plus régulier. Ceci s'explique par le fait que le bois est exempt de résines. D'autre part, comme la résistance du matériau est plus basse, il est nécessaire de régler les rouleaux d'avancement sur des pressions inférieures afin de prévenir toute fissuration des planches. On a pu atteindre de bons résultats en remplaçant les rouleaux comme représenté sur le schéma ci-dessus. Dans certaines lignes de rabotage, il faut également diminuer la vitesse, p.ex. de 80 à 60 m/min. dans l'un des cas et de 100 à 80 m/min. dans l'autre cas. Si la vitesse d'avancement est réduite, on doit aussi réduire respectivement la vitesse de rotation des têtes de lame. Un rapport très élevé de la vitesse de rotation sur celle d'avancement risquerait de causer le brûlage de la surface du bois.

La pression des rouleaux, ainsi que la vitesse et autres paramètres, dépendent dans une forte mesure de la ligne et des machines de rabotage. Pour cette raison, il est impossible de citer des valeurs générales quelconques. Au cours du rabotage du ThermoWood, on établit les paramètres séparément pour chaque machine particulière.

On rapporte que les machines (leurs outils de coupe et autres surfaces) se trouvent très propres après le travail sur le ThermoWood grâce au fait que ce matériau ne contient pas de résines; mieux encore, le ThermoWood est capable de nettoyer les machines en éliminant la poussière contenant les résines qui est restée après les lots de production précédents.

Afin d'obtenir les meilleurs résultats possibles du rabotage et de minimiser le ramollissement des anneaux annuels, il est recommandé d'utiliser un matériau qui a été coupé aussi parallèlement aux fibres que possible. En outre, les résultats peuvent être rendus meilleurs si l'on choisit la face la plus avantageuse pour le rabotage. Il existe un lien étroit entre le type et la pression du rouleau d'avancement, l'orientation des fibres, le gondolement transversal, l'affûtage des têtes de lame et la vitesse de production. Les meilleurs résultats s'obtiennent en harmonisant avec soin toutes ces variables.

5.4. Fraisage

La VTT a entrepris des essais de fraisage en utilisant une machine CNC (à commande numérique). Pour obtenir une bonne qualité de surface, particulièrement au cours du fraisage, les outils de coupe doivent être bien affûtés, car autrement, la déchirure va se produire. Un degré de déchirure plus haut a été décelé lorsque le bois était fraisé transversalement aux fibres. Les problèmes de déchirure les plus graves ont été rencontrés au début du fraisage et à la fin, quand l'outil de coupe sort du bois. On peut considérer que le fraisage du bois soumis au traitement thermique est similaire à celui ayant lieu en cas de travail avec les le bois dur et friable des essences feuillues.

On a trouvé que l'ordre de travail exerce l'influence sur les performances du bois. Les meilleurs résultats étaient atteints quand il y avait assez de matériau de bois solide derrière l'outil de coupe. En conséquence, il faut bien planifier l'usinage par avance.

Les outils de coupe s'usent moins vite qu'en cas de travail sur le bois traditionnel.

5.5. Ponçage

En général, l'usinage est le même qu'en travaillant avec le bois non traité; on ne mentionne aucun problème. Dans de nombreux cas, on n'a pas besoin de poncer, puisque le ThermoWood présente déjà une bonne qualité de surface après le rabotage ou le fraisage.

La poussière qui est produite se caractérise par une petite taille des particules, dont on doit tenir compte en planifiant le captage des poussières. D'autre part, cette poussière est légère et sèche, de sorte qu'aucunes exigences particulières ne sont imposées aux systèmes de captage. De même qu'en cas de manipulation des poussières de bois de n'importe quel type, il existe le risque d'explosion de la poussière dans certaines conditions.

5.6. Collage et jointage à l'échelle industrielle

Collage

En collant des pièces ThermoWood, il faut toujours suivre les instructions spécifiques du fabricant de la colle. Les recommandations de l'un des fabricants sont données dans l'Annexe 1.

La VTT a étudié l'aptitude au collage du bois thermiquement traité avec des colles PVAc à 1 et 2 composants, des colles au polyuréthane (PU) à 1 et 2 composants, des colles à la résorcine-phénol (RF) et des colles à l'émulsion-polymère-isocyanate (EPI). L'essai d'aptitude au collage a été mené en conformité avec DIN 68603.

La solidité de la collure se déterminait selon la méthode de EN 392 (essai de cisaillement en bloc). L'endurance en conditions d'humidité était déterminée suivant le test de délaminage EN 302-2. La pénétration de la colle dans le ThermoWood était étudiée au moyen d'un microscope.

L'aptitude au collage dépend de la classe de traitement thermique. La résistance de la collure au cisaillement décroît avec l'augmentation des températures de traitement. Ceci s'explique par le changement des propriétés mécaniques du matériau. Il en résulte aussi le haut pourcentage (90 à 100%) de défauts du bois. La rupture de la collure est imputable au bois, et non à la colle.

La pénétration de la colle EPI dans le bois soumis au traitement thermique était assez forte, ce qui peut avoir un certain effet sur les valeurs de la résistance. La colle EPI est faiblement alcaline; en outre, un temps assez long de pressage à froid (de l'ordre de plusieurs heures) est à même d'intensifier la pénétration de la colle.

Des expériences effectuées dans l'une des installations de production de barres type glulam (collées laminées) avec utilisation du bois de pin thermiquement traité comme matière première ont abouti à des résultats satisfaisants. Les deux types de colle, MUF et RF, se sont montrés bons. On a utilisé des paramètres de production (temps de pressage, pression etc.) normaux. Les assemblages à tenon ont été exécutés avec la colle MUF.

En ce qui concerne le collage, les résultats étaient meilleurs avec du bois traité à des températures moins élevées. En travaillant avec des colles PVAc, la teneur de la colle en eau doit être minimisée. Etant donné que le procédé de traitement thermique conduit au changement de la capacité de fixation d'eau, la vitesse d'absorption de la colle et de l'eau dedans le bois se voit réduite.

Certaines colles PVAc peuvent provoquer des problèmes qui se manifestent comme temps de séchage considérablement plus longs à cause de la nécessité de pénétration de l'eau dans le bois; en d'autres mots, le durcissement de la colle est basé sur l'absorption de l'eau par le bois. Un temps de séchage normal peut être atteint grâce au durcissement chimique de la colle.

Tous les essais conduits avec des colles PU ont réussi. Cependant, il faut prendre en considération le fait que la réaction de prise de la PU nécessite la présence de l'eau. L'eau peut être absorbée soit à partir du bois, soit à partir de l'air ambiant. La quantité nécessaire d'humidité est tributaire de la colle, mais si les deux milieux, bois et air, sont très secs, il existe le risque d'un collage mal réussi.

De même que dans toutes les opérations de collage du bois, il faut prêter attention aux conditions adéquates en travaillant avec le ThermoWood. On entend par là la température du bois, sa teneur en humidité et la propreté de la surface.

Assemblage à tenon

L'Institut Technologique de Seinäjoki a conduit des essais d'assemblage à tenon avec

- quatre colles différentes: MUF, PVAc, 2 x PU;
- trois temps d'exposition: 15 s, 30 s et 60 s;
- six pressions de 1,3 à 7,8 N/mm² (la pression correspondante dans la collure est de 0,2 à 1,2 MPa).

Les joints étaient solides avec tous les paramètres testés. Selon les résultats des essais, la pression maximum était de 22 N/mm², ce qui est plus de dix fois la valeur nécessaire pour obtenir une collure stable. Nous recommandons l'emploi d'outils de

coupe munis d'embouts de carbure pour usiner les tenons d'assemblage. Il est également conseillé que la colle soit appliquée des deux côtés en vue d'assurer un joint sûr.

Comme le travail avec des outils de coupe émoussés peut causer rapidement la détérioration des assemblages à tenon, il est important de se servir d'outils bien affûtés. Il a été également découvert qu'en utilisant des vitesses légèrement moins grandes, on réussit à réduire le risque d'une telle détérioration.

On a essayé, avec résultats positifs, diverses méthodes d'assemblage à tenon. Des essais à l'échelle industrielle ont permis de constater que compte tenu du gonflement transversal du ThermoWood dû au procédé de traitement, le rabotage préliminaire du matériau avant l'assemblage à tenon assure des résultats beaucoup plus satisfaisants, permettant en outre d'atteindre une vitesse de production plus haute avec des arrêts moins fréquents. Par ailleurs, ledit rabotage préliminaire améliore la performance des dispositifs de vision de la machine sur lignes de coupe automatiques.

Joint s mécanique

Il est possible d'éviter le fendage du matériau en utilisant des vis autoforeuses à tête plate ou en effectuant le perçage préalable de trous.



Figure 2-5. Vis autoforeuse

Le choix de la ferronnerie se fait en fonction de l'application particulière. Pour des applications extérieures et conditions similaires, on recommande l'emploi de la ferronnerie inox.

De bons assemblages s'obtiennent avec des cloueurs à commande pneumatique. On doit observer toujours la pression nécessaire et la longueur correcte de l'entraînement du cloueur.

En réalisant les assemblages, il faut prendre en compte la moindre résistance du matériau au fendage et aussi, sa limite de flexion légèrement réduite. Il est recommandé que les joints vitaux et les détails des produits soient testés avant la production. De gros nœuds (surtout par rapport à la section transversale) constituent toujours un élément de risque en manipulant le ThermoWood, parce que le bois est exempt de substances résineuses qui jouent le rôle, dans le bois ordinaire, d'une sorte de colle entre le nœud et la zone adjacente.

La stabilité dimensionnelle accrue du ThermoWood permet de concevoir les joints avec des tolérances plus serrées que pour les assemblages du bois ordinaire.

5.7. Traitement en surface à l'échelle industrielle

De par ses propriétés essentielles, le ThermoWood est comparable au bois non traité en qualité de substrat pour revêtements. Comme les résines sont sorties du bois soumis au traitement thermique, le risque d'écoulement de résines depuis la zone entourant les nœuds vers la surface peinte devient réduit. De cette façon, il n'est plus nécessaire de sceller les nœuds avant traitement.

En cas d'application d'agents de traitement en surface au ThermoWood, il faut toujours suivre les instructions spécifiques du fabricant de la peinture. Les recommandations du fabricant sont données dans l'Annexe 2.

Une meilleure adhésion superficielle pour ThermoWood est atteinte grâce au rabotage de super finition ou en cas de brossage du bois de printemps. Sinon, de menus éclats seront aisément détachés de la surface usinée avec une scie à ruban. Les surfaces doivent être propres, de même qu'en cas d'un autre matériau quelconque.

Des substances à base de l'huile se comportent de la même manière qu'avec le bois ordinaire. En travaillant avec des substances à base de l'eau, on doit prendre en considération le fait que le ThermoWood présente une capacité d'absorption d'eau qui est moins bonne qu'en cas du bois ordinaire. Toutefois, aucun problème n'avait été rapporté. Il paraît que les produits de traitement à base de l'eau se comportent bien quand ils se dessèchent assez lentement et ont un temps suffisant pour pénétrer dans le bois. De bons résultats ont été obtenus avec des peintures et vernis durcissant aux rayons UV, de même qu'avec huiles et cires.

Nous sommes toujours dans l'attente des résultats d'essais aux intempéries des peintures de Dyrup/Gori. En outre, on a testé une série exhaustive de composés industriels d'application à base de l'eau aux couleurs variables. La Dyrup a également conduit des essais accélérés aux intempéries sur le ThermoWood avec un seul revêtement superficiel sans imprégnation, ainsi que sur le bois des essences résineuses normalement imprégné avec un revêtement superficiel. Ces échantillons avaient déjà été présents dans la chambre d'essais accélérés aux intempéries durant 2000 heures; on n'a donc constaté aucune différence dans les performances. L'essai sera continué pour 2000 heures supplémentaires pour voir si quelques différences apparaissent.

Comme l'ont montré les essais, on est en présence de la plus grande consommation de l'apprêt, mais à part cela, il n'y a aucun résultats significatifs autres que la qualité excellente de la surface et l'aspect très esthétique obtenus avec le ThermoWood. Les produits de peinture qu'on peut déjà recommander pour le ThermoWood sont indiqués dans les Annexes.

Comme c'est toujours le cas des opérations de traitement en surface, le travail avec le ThermoWood nécessite que l'attention particulière soit prêtée aux conditions normales, telles que les valeurs adéquates de la température et de la teneur en humidité du bois, ainsi que la propreté de la surface.

5.8. Protection contre incendie

Le produit ThermoWood fait en bois de pin a montré des résultats satisfaisants durant les essais préliminaires d'antipyrènes. On a utilisé pour ces tests les antipyrènes de types Moelven Fireguard IV et Injecta F exterior. On a pu constater, pour les deux substances, une assimilation plus marquée qu'en cas du bois ordinaire non traité, ce qui s'explique par le fait que le ThermoWood ne contient pas de résines. On s'attend à de nouveaux tests de ce genre.

5.9. Expérience pratique acquise par une société de menuiserie finlandaise

Les résultats qui suivent représentent les commentaires d'un ingénieur technicien qui travaille dans une société de menuiserie finlandaise spécialisée. Cette société s'occupe du ThermoWood durant déjà plusieurs années.

Matière première

La société a travaillé avec le bois de pin, d'épicéa, de tremble et de bouleau soumis au traitement thermique.

- Tremble: les résultats ont été bons, mais la disponibilité est assez médiocre
- Bouleau: bons résultats pour une meilleure disponibilité
- Pin et épicéa: bon matériau dont les nœuds ont été récemment éliminés; des nœuds plus gros constituent un problème; disponibilité assez riche
- Dans la plupart des cas, ils achètent le bois dont la taille est d'un module dimensionnel plus grande que d'ordinaire, ceci pour assurer une tolérance suffisante, le problème consistant en les distorsions dues au procédé de traitement thermique.

Sciage

- Les machines et outils normaux fonctionnent bien, mais il faut les affûter
- Pas de problèmes graves avec le sciage de long ou à travers
- Pas de tensions internes dans le bois thermiquement traité
- La structure du bois ressemble plutôt à celle des essences feuillues, ce qui explique une usure correspondante des outils.

Rabotage

- La société emploie des machines et outils de coupe conventionnels
- Les machines et outils de coupe doivent être bien entretenus et affûtés
- Le résultat de l'usinage peut être affecté par les méthodes de coupe
- Les outils de coupe s'usent de la même manière qu'en cas de travail avec les essences feuillues
- Le tremble, le bouleau et le pin sont très faciles à usiner
- L'épicéa nécessite une attention légèrement plus grande, mais les résultats peuvent être bons.

Fraisage

- Risque de détérioration pendant le tenonnage
- Le résultat dépend de l'affûtage des outils de coupe, des angles de coupe corrects et de la vitesse de coupe.

Ponçage

- Pas de problèmes sérieux si l'on utilise des ponceuses
- Le papier s'use avec la même vitesse qu'en cas de ponçage du bois feuillu.

Clouage et vissage

- Les meilleurs résultats sont atteints avec un cloueur à commande pneumatique
- En travaillant avec un marteau, il est recommandé de pratiquer préalablement des trous
- Pour le vissage, il faut également prévoir des trous
- Le bois est à manipuler de la même manière qu'en cas de bois feuillu.

Collage

- Temps de séchage de la colle et celui de pressage sont considérablement plus longs
- Plusieurs options de colles
- Le temps de séchage peut être raccourci grâce à des températures plus élevées

Traitement en surface

- Les méthodes traditionnelles sont bien convenables
- En travaillant sans pigment, la couleur devient grise claire après un certain temps
- Bonne adhésion de la couche de traitement en surface
- Le matériau constitue un bon substrat pour des peintures à base de l'eau.

Stockage de la matière première

- Ne pas stocker le matériau à des endroits où il pourrait être exposé à la neige ou à la pluie
- Protéger les paquets avec un papier d'emballage ou les stocker dans un dépôt
- Pas d'exigences spéciales à imposer aux conditions de stockage
- Il est conseillé de prévoir le conditionnement avant utilisation.

5.10. Problèmes sanitaires et de sécurité

On ne peut pas distinguer de grande différence dans le domaine de santé et de sécurité entre le ThermoWood et le bois ordinaire résineux ou feuillu. Néanmoins, il existe deux différences détectables: l'odeur émanant du matériau et les poussières produites au cours du traitement.

Le ThermoWood se caractérise par une odeur semblable à celle de la fumée qui provient probablement des composés chimiques appelés "furfuraux". Bien que l'odeur soit aisément détectable par les organes des sens humains et paraisse être plus forte que celle du bois non traité, les essais donnent des résultats opposés.

En effet, comme on l'a déjà indiqué dans le point 4.2.13, les émissions des composés organiques volatiles (COV) émanant du ThermoWood ne constituent qu'une fraction de celles du bois de pin ordinaire. On n'a décelé dans le ThermoWood aucun composant toxique ni nocif. On l'a même testé en tant que substitut de l'os. En tout cas, si un éclat de bois pénètre la peau, il convient de l'extraire autant vite que possible, de même qu'avec le bois ordinaire.

L'Université Technologique de Tampere a étudié, en coopération avec l'Institut Régional d'Hygiène du Travail résidant à Lappeenranta, les effets de la manipulation du ThermoWood sur la santé. La poussière du ThermoWood se caractérise par une taille légèrement plus petite des particules par rapport à celle du bois résineux ordinaire. On peut la comparer à celle de l'MDF (abréviation des mots anglais Medium Density Fiberboard, panneau de fibres à moyenne densité) ou du bois feuillu. En étudiant les poussières du ThermoWood, on n'a pu observer aucune corrélation avec le risque de cancer.

En traitant le ThermoWood, il faut prêter une attention particulière au fonctionnement d'un système approprié de captage des poussières. Un tel système doit être bien scellé et suffisamment efficace.

Les systèmes standard de captage des poussières fonctionnant dans un milieu industriel satisfont cette exigence sans nécessiter des réglages spéciaux. Etant donné que la poussière est fine, légère et exempte de résines, elle est aisément aspirée dans les tuyaux d'évacuation. Le personnel quotidiennement exposé aux poussières doit se protéger avec p.ex. des masques appropriés.

Au cours du collage ou de l'application de la peinture au ThermoWood, il convient toujours de suivre les instructions spécifiques du fabricant de la peinture ou de la colle concernant l'hygiène du travail et la sécurité.

6. Utilisation du ThermoWood

6.1. Usinage

Le sciage du ThermoWood est le même qu'en cas du bois non traité. En ce qui concerne les nœuds, on n'a remarqué aucune déchirure particulières qui soient différentes de celles ayant lieu dans le bois ordinaire.

L'usinage au moyen d'outils manuels de toute sorte, tels que ceux utilisés dans le ponçage, le forage et le fraisage, est assez facile. Le ponçage donne d'excellents résultats, tandis que le forage, même en cas de présence de nœuds, n'est pas difficile.

Etant donné la friabilité du ThermoWood, il faut prêter l'attention à sa manipulation. La chute des pièces peut avoir pour effet l'endommagement de leurs bords. Quant aux pièces de grande longueur, il n'est pas recommandé de les soulever par une seule extrémité.

Le seul problème qui se pose en travaillant avec des outils à main consiste en la poussière. En effet, compte tenu du fait que le ThermoWood est normalement très sec, la poussière est fine, de sorte qu'elle se disperse aisément dans le milieu environnant. La meilleure solution serait de prévoir un système de captage efficace, mais cela se trouve souvent impossible. Pour cette raison, il est vivement recommandé de se servir dans ce cas de masques de protection.

6.2. Assemblage

Clouage

Pour clouer le ThermoWood, on recommande d'employer un cloueur pneumatique. L'ajustage de la pénétration des clous nécessite l'essai de la pression - voir le dessin ci-dessous. Les meilleurs résultats sont atteints en utilisant un petit cloueur pneumatique à profondeur d'enfoncement réglable.

L'emploi d'un marteau ordinaire risquerait de provoquer le fendage au moment de l'impact de celui-ci contre le bois. Avec chaque coup, 2 à 3 mm terminaux de la longueur du clou doivent attaquer le bois.

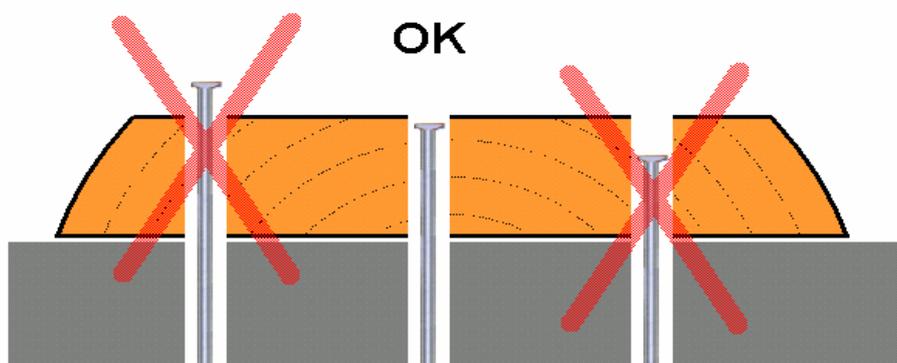


Figure 1-6. Pénétration correcte du clou. Elle doit être égale à 1 mm environ au-dessous de la surface de la pièce.

Type de clous

Afin de réduire le risque de décoloration du bois, on recommande d'employer des clous en acier inoxydable. Cependant, en cas d'utilisation d'un cloueur pneumatique, des clous galvanisés sont plutôt convenables, puisqu'avec cette méthode, il ne se produit pas de contact métal-méta qui pourrait détruire la surface galvanisée. Les clous galvanisés représentent également la meilleure solution au cas où une couche superficielle est appliquée par dessus le revêtement principal. Pour éviter le fendage, les plus convenables seront de petits clous à tête ovale.

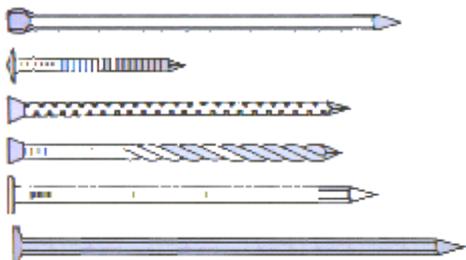


Figure 2-6. Quelques types de clous convenables, le plus préférable étant le petit clous à tête ovale montré en haut.

Vissage

Il est important de prévoir le forage préalable (près des extrémités) et le fraisage conique, tout comme dans le cas de travail avec le bois d'essences feuillues, les panneaux de fibres à moyenne densité ou autres matériaux friables. Des vis en inox à tête noyée sont surtout convenables pour applications à ciel ouvert ou dans d'autres milieux humides. Si l'on veut obtenir la force de fixation maximum, ce sont des vis avec filet à grand pas qui donnent les meilleurs résultats. On peut aussi utiliser pour le ThermoWood des vis autoforeuses sans perçage préalable.



Figure 3-6. Vis autoforeuse

6.3. Collage sur le site

Pour le collage du ThermoWood, on doit toujours suivre les prescriptions du fabricant de la colle. L'Annexe 1 contient les recommandations de l'un des fabricants.

En ce qui concerne le collage, les meilleurs résultats sont atteints lorsque le bois est traité à des températures plus basses, comme c'est le cas pour la classe du ThermoWood destinée aux applications intérieures. En assemblage, il n'est pas admis d'utiliser des pressions élevées de compression, par ce que le matériau est plus friable par rapport au bois non traité.

Le bois soumis au traitement thermique absorbe l'eau et les colles hydrosolubles, telles que PVAc, assez lentement. C'est pour cela que des temps de pressage plus longs que d'ordinaire sont nécessaires en travaillant avec des colles solubles dans l'eau. Certaines d'entre les colles PVAc peuvent causer des problèmes se traduisant sous la forme de temps de séchage considérablement plus prolongé à cause de l'exigence imposée à l'eau d'être absorbée par le bois; autrement dit, la temps de prise de la colle dépend de l'absorption de l'eau par le bois. En travaillant avec des colles PVAc, il convient de minimiser la teneur de la colle en eau.

On rapporte que les colles du type PU (polyuréthane) montrent de bonnes performances avec le ThermoWood. Toutefois, bien que tous les essais qui avaient été conduits sur colles PU aient réussi, il faut prendre en considération le fait que la réaction de durcissement des PU nécessite la présence de l'eau. Celle-ci peut être absorbée soit à partir du bois, soit à partir de l'air ambiant. La quantité voulue d'humidité est déterminée par la colle, mais si tant le bois que l'air sont très secs, il existe toujours le risque de collage mal réussi.

Le durcissement par voie chimique de colles, telles que résines MUF et RF, permet aux temps de séchage et aux autres paramètres de collage de rester inchangés.

Comme c'est toujours le cas des opérations de collage, il faut faire attention aux conditions normales de travail avec le ThermoWood, y compris la température du bois, la teneur en humidité et la propreté de la surface.

6.4. Traitement en surface

En règle générale, le ThermoWood® est analogue au bois ordinaire en tant qu'objet du traitement en surface. Cependant, le procédé ThermoWood® influence certaines propriétés associées avec le traitement en surface. La teneur réduite du bois en humidité à l'équilibre contribue à améliorer sa stabilité, ce qui réduit, à son tour, la fissuration et l'écaillage du revêtement superficiel en conditions d'environnement variables. Les produits de traitement en surface à base de l'eau demandent des temps de séchage/absorption légèrement plus longs, puisque le pouvoir d'absorption d'eau par le ThermoWood s'est abaissée, de même que sa teneur en humidité équilibrée. Comme la haute température du processus de traitement contribue à l'élimination des résines hors du bois, on ne doit pas forcément prévoir, au cours du traitement en surface, des procédures spéciales relatives aux nœuds.

En l'absence du traitement superficiel, la surface du ThermoWood se comporte de la même manière que celle du bois non traité. A cause des rayons UV présents dans la lumière solaire, la surface devient grise et des fentes microscopiques s'y forment; en outre, la surface vieillit à un tel degré qu'elle acquiert avec le temps un aspect antique. En vue de conserver la couleur et la qualité de surface originales, on recommande de procéder à un traitement en surface. Au cas où la couche d'apprêt est à appliquer manuellement, les meilleurs résultats du traitement superficiel seront atteints en utilisant des peintures à base de l'huile. Si le matériau a été livré sur le site avec la couche d'apprêt déjà appliquée, on peut facilement appliquer à main les revêtements supérieurs appropriés avec une brosse, en utilisant soit une peinture à l'huile, soit une peinture à l'eau, en fonction du type de l'apprêt et des prescriptions du fabricant.

Pour prévenir le changement de la couleur, la substance de traitement doit contenir un pigment. Dans la plupart des cas, le traitement en surface se fait avec une substance de conservation transparente additionnée d'un pigment brun en vue d'obtenir la correspondance la plus précise possible avec la couleur originale du ThermoWood.

Cela donne habituellement un aspect légèrement plus sombre. Divers types de traitement en surface se caractérisent par des intervalles d'entretien différents. Plus grande est la quantité de pigment, est plus long est l'intervalle d'entretien. En cas d'emploi d'une peinture opaque, la couleur originale et les petits détails du ThermoWood seront obscurcis.

Il est recommandé de traiter le matériau une première fois avant l'installation et d'appliquer la couche de finition après l'installation. Au cas où des produits de traitement de surface à base d'huiles végétales sont utilisés pour applications exposées aux éléments, on recommande l'emploi de produits dotés d'agents de protection contre la moisissure.

En effectuant le traitement superficiel du ThermoWood, il est nécessaire de suivre strictement les prescriptions du fabricant des produits utilisés à cet effet.

6.5. Utilisation du ThermoWood pour planches de saunas

Etant donné sa nature hautement hygiénique, sa couleur et la conductivité thermique réduite, le ThermoWood® est très convenable aux planches de saunas. Cependant, les cycles assez rapides de mouillage et de séchage dans un environnement à températures élevées peuvent provoquer le fendage des planches à leur extrémités. Pour éviter une telle situation, il serait bon de sceller les extrémités avec de l'huile, de la cire ou du vernis.

6.6. Entretien des produits

Divers types de traitement en surface se caractérisent par des intervalles d'entretien différents. Plus grande est la quantité de pigment, est plus long est l'intervalle d'entretien. Cependant, en cas d'emploi d'une peinture opaque, la couleur originale et l'aspect extérieur du ThermoWood s'obscurcissent. En règle générale, les revêtements transparents de traitement en surface qui contiennent un pigment nécessitent un intervalle d'entretien deux ou trois fois plus long par rapport à celui nécessaire pour revêtements sans pigment. En outre, les peintures opaques se caractérisent par des intervalles d'entretien deux fois plus longs que ceux pour peintures transparentes contenant un pigment.

L'environnement et le climat exercent une influence décisive sur la longévité du revêtement de surface. Les rayons UV présents dans la lumière solaire et l'humidité constituent les plus graves obstacles qui doivent être surmontés à l'aide du traitement en surface. Il en résulte par exemple que le côté sud du bâtiment a besoin d'entretiens plus fréquents que son côté nord. De plus, les bâtiments situés dans une localité à climat continental ont des revêtements de surface plus durables que ceux des bâtiments au voisinage de la mer.

Pour assurer la performance maximum du revêtement et éviter son endommagement, les surfaces doivent être annuellement nettoyées et vérifiées, tout défaut décelé devant être immédiatement réparé.

Il faut toujours se référer aux instructions d'entretien spécifiques du fabricant de la peinture, si elles sont disponibles.

6.7. Problèmes sanitaires et de sécurité

On ne peut pas distinguer de grande différence dans le domaine de santé et de sécurité entre le ThermoWood et le bois ordinaire résineux ou feuillu. Néanmoins, il

existe deux différences détectables: l'odeur émanant du matériau et les poussières produites au cours du traitement.

Le ThermoWood se caractérise par une odeur semblable à celle de la fumée qui provient probablement des composés chimiques appelés "furfuraux". Bien que l'odeur soit aisément reconnaissable par les organes des sens humains et paraisse être plus forte que celle du bois non traité, les émissions des composés organiques volatiles (COV) émanant du ThermoWood ne constituent qu'une fraction de celles du bois de pin ordinaire.

On n'a décelé dans le ThermoWood aucun composant toxique ni nocif. On l'a même testé en tant que substitut de l'os. Toutefois, si un éclat de bois pénètre la peau, il convient de l'extraire autant vite que possible, de même qu'avec le bois ordinaire.

La poussière du ThermoWood se caractérise par une taille légèrement plus petite des particules par rapport à celle du bois résineux ordinaire. On peut la comparer à celle de l'MDF (la densité étant pourtant plus petite) ou du bois feuillu. Les poussières peuvent causer des problèmes pour les personnes atteintes de l'asthme. C'est pour ces raisons qu'on doit prêter une attention particulière à l'utilisation d'un système approprié de captage des poussières.

Si un tel système s'avère insuffisant, il faudra avoir recours à des masques de protection.

Au cours du collage ou de l'application de la peinture au ThermoWood, il convient de suivre toujours les instructions spécifiques du fabricant de la peinture ou de la colle concernant l'hygiène du travail et la sécurité.

7. Manipulation et stockage du ThermoWood

7.1 Généralités

Le ThermoWood doit être stocké dans un endroit sec. Comme il n'y a pas de nécessité d'une température de stockage spécifique, des dépôts froids conviennent aussi bien pour le stockage. Il faut soigneusement recouvrir les produits ou les stocker dans un magasin couvert.

Les emballages sont à stocker en position horizontale, dotés d'un nombre suffisant d'appuis en dessous pour éviter la distorsion des planches inférieures, tout contact des emballages avec le sol étant à proscrire.

Avant l'utilisation ou des opérations ultérieures de collage et/ou de traitement en surface, il est nécessaire de prévoir un temps suffisant pour que le matériau puisse être conditionné jusqu'à obtenir la teneur en humidité et la température requises selon les recommandations du fabricant. Au cas où les emballages avec ThermoWood sont soulevés avec une grue, un chargeur à fourches ou un autre dispositif similaire, les fourches doivent être réglées à leur écart maximum, étant donné la résistance du matériau à la flexion un peu réduite.

Il n'est pas permis d'ouvrir les bottes avant utilisation.

7.2. Manipulation de produits résiduels et rebutés

Le ThermoWood est un produit de bois naturel exempt de toute substance chimique. Au cas où il n'est collé ni peint, ses déchets peuvent bien être manipulés de la même manière que ceux de tout autre bois non traité.

Il est possible de brûler le ThermoWood. Il produit alors une quantité d'énergie qui est d'environ 30% moindre qu'en cas du bois non traité, puisque la plupart des substances extractives contenant l'énergie ont déjà été éliminées au cours du procédé de traitement thermique. Le brûlage du ThermoWood produit moins de flammes, de fumées et de gaz nocifs, ce qui s'explique par les raisons mentionnées plus haut. L'inflammabilité est en général meilleure à cause de la teneur du bois en humidité équilibrée plus basse, c'est-à-dire que le bois est plus sec. On n'observe pas de différence significative entre les composés contenus dans la fumée provenant du ThermoWood et ceux de la fumée du bois ordinaire.

Sont bien possibles le tamponnage et le briquetage, si l'on utilise un mélange avec les sciures ordinaires. Etant donné le fait que le ThermoWood est sec et ne contient pas de résines, il est nécessaire d'utiliser, pour retenir les tampons liés ensemble, les sciures du bois résineux ordinaires.

Le ThermoWood n'étant pas toxique, on peut bien le jeter aux ordures.

Bibliographie

Alén, R., Puun rakenne ja kemiallinen koostumus, luentomuistiinpanot luentosarjasta, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos, Soveltava kemia, Jyväskylä, 1998.

Brunow, G., Lundquist, K. ja Gellerstedt, G., Ligniini. Kirjassa: Sjöström, E. ja Alén, R., (toim.), Analytical methods in wood chemistry, pulping, and papermaking, Springer-Verlag, Berliini, Saksa, 1999, s. 77-92.

Fengel, D. ja Wegener, G., Wood - Chemistry, Ultrastructure, Reactions, Walter de Gruyter, Berliini, Saksa, 1989, s. 26-344.

Funaoka, M., Kako, T. ja Abe, I., Condensation of lignin during heating of wood, Wood Sci. Technol., 24(1990)277-288.

Hietala, S., Maunu, S.L., Sundholm, F., Jämsä, S. and Viitaniemi, P. Structure of Thermally Modified Wood Studied by Liquid State NMR Measurements. Holzforschung, submitted, 2001.

Iivessalo-Pfäffli, M.-S., Puun rakenne, kirjassa: Puukemia (toim. W.Jensen), Teknillisten Tieteiden Akatemia, suomi, 1977, s. 7-81.

Juppi, T., Työilman puupölypitoisuus lämpökäsiteltyä ja muulla tavalla kuivattua puuta hiottaessa, Projekti- ja seminaarityö, Mikkelin ammattikorkeakoulu, 1999, 24 s.

Jämsä, S., Ahola, P., Viitaniemi, P. 2000. Long-term natural weathering of coated ThermoWood. Pigment & Resin Technology . Vol. 29 (2000) No: 2, 68 - 74.

Jämsä, S., Ahola, P., Viitaniemi, P. 1999. Performance of coated heat-treated wood. Surface Coatings International JOCCA Journal of the oil & colour chemists' association. Vol. 82 (1999) No: 6, 297 - 300.

Jämsä, S., Ahola, P., Viitaniemi, P. 1988. Moisture behaviour of coated thermowood. 5th Conference on Wood - Coatings - Moisture. VTT, Espoo, 20 march, 1998.

Jämsä, S., Ahola, P., Viitaniemi, P. 1988. Performance of the coated Thermowood. Advances in exterior wood coatings and CEN standardisation. Brussels, BE, 19 - 21 Oct. 1998. Paint Research Association, Teddington. 9 p. Paper : 22.

Jämsä, S., Viitaniemi, P. 1998. Heat treatment of wood. Better durability without chemicals Nordiske Trebeskyttelsedager. Lofoten, NO, 13 - 16 Aug. 1998. Nordiske Trebeskyttelseråd (1998), p. 47 - 51.

Kotilainen, R., Chemical changes in wood during heating at 150-260 °C, Väitöskirja, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos, Soveltava kemia, Jyväskylä, 2000.

Kotilainen, R., Alén, R., Puhakka, I. ja Peltola, P., A rapid spectrometric /PLS method for evaluating rotting test results from heat-treated wood products, poster, CAC-2000, 7th International Conference on chemometrics in Analytical chemistry, Antwerpen, Belgia, 16.-20.10. 2000.

Kärkkäinen, T., Männyn lämpökäsittelyssä haihtuvien reaktiotuotteiden koostumus ja niiden poistaminen kondenssivesistä, Erikoistyö, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos, Soveltava kemia, Jyväskylä, 2000.

Liitiä, T., Maunu, S.-L. ja Hortling, B., Solid-state NMR studies of residual lignin and its association with carbohydrates, J. Pulp Paper Sci., 16(2000)323-330.

Mali, J., Koskela, K. ja Kainulainen, K., Stellac[®] Wood- prosessilla lämpökäsitellyn puun ominaisuudet, Tutkimusraportti, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Rakennustekniikka, Puutekniikka, Espoo, 2000.

Marttinen, J., Lämpökäsitellyn puun laadunvalvontajärjestelmän jatkokehittäminen, insinöörityö, Mikkelin ammattikorkeakoulu, Tekniikan koulutusyksikkö, metsätalouden ja puutekniikan koulutusohjelma, puutuotetekniikan suuntautumisvaihtoehto, Mikkeli, 2001.

Mikkola, E. ja Hakkarainen, T., Effect of thermal treatment on reaction to fire classification of wood, Tutkimusraportti RTE896/01, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Rakennustekniikka, Espoo, 2001.

Myllynen, T., Lämpökäsitellyn puun höyläystesti, tutkimusseloste, Ympäristötekniikan instituutti, Mikkeli, 2000.

Möller, K. ja Otranen L., Puun lämpökäsittely, Ympäristötekniikan instituutin julkaisuja 4, Ympäristötekniikan instituutti, Mikkeli, 1999.

Nuopponen, M., Vuorinen, T., Jämsä, S., Viitaniemi, P. Effects of heat treatment on the behaviour of extractives in softwood. Wood Science and Technology, submitted 2001.

Peltomäki, J., Lämpökäsitellyn puun ulkokenttätästäus eri maalisysteemeillä, tutkimusseloste, Teknos Winter Oy, 1998.

Pouru, M., Peräkorpi, K. ja Lehtonen, J., Testausseloste 00/16, Mikkelin ammattikorkeakoulu, ympäristölaboratorio, Mikkeli, 2000.

Puhakka, I., Sulfaattimassan jäännösligniinin kemiallinen rakenne, Pro gradu, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos, Soveltava kemia, Jyväskylä, 2001.

Puhakka, I. ja Peltola, P., Spektroskopisten mittausten ja kaasunläpäisyn soveltuvuus lämpökäsitellyn puun laadunvalvontaan ja prosessinohjaukseen,

Erikoistyö, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos, Soveltavan kemian osasto, Jyväskylä, 2000.

Rusche, H., Die Thermisch Zersetzung von Holz bei Temperaturen bis 200 °C- Erste Mitteilung: Festigkeitseigenschaften von Trockenem Holz Nach Thermischer Behandlung, Holz Roh Werkst, 31(1973)273-281.

Sailer, M., Rapp, A.O. ja Leithoff, H., Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment, 31st Annual Meeting of the international research group on wood preservation, Kona, Hawaii, USA, 14.-19.2000, IRG/WP 00-40162, s. 3-17.

Sakakibara, A., Chemistry of lignin. Kirjassa: Hon, D.N.-S. ja Shiraishi, N., (toim.), Wood and Cellulosic Chemistry, Marcel Dekker, New York, USA, 1991, s. 113-120.

Shafizadeh, F., The chemistry of pyrolysis and combustion. Kirjassa: Comstock, M.J., (toim.), Chemistry of solid wood, American chemical society, Washington D.C., USA, 1984, s. 489-529.

Sivonen, H., Maunu, S.L., Sundholm, F., Jämsä, S. and Viitaniemi, P. Magnetic Resonance Studies of Thermally Modified Wood. Holzforschung, submitted 2001.

Sjöström, E., Wood Chemistry- Fundamentals and Applications, 2. painos, Academic Press, San Diego, USA, 1993, 293 s.

Syrjänen, T. ja Kangas, E., Heat treated timber in Finland, 31st Annual Meeting of the international research group on wood preservation, Kona, Hawaii, USA, 14.-19.2000, IRG/WP 00-40158, s. 2-10.

Tarvainen, V., Forsén, H. ja Hukka, A., Männyn ja kuusen kuumakuivauskaavojen kehittäminen ja kuivatun sahatavaran ominaisuudet, VTT julkaisuja 812, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo, 1996, 99 s.

Torniainen, P., Lämpökäsittelyn vaikutus koivun kovuuteen, Ympäristötekniikan instituutin julkaisuja, Ympäristötekniikan instituutti, Mikkeli, 2000.

Up-grading of non durable wood species by appropriate pyrolysis treatment (PYROW). Confidential, a brief summary of the results is published at Up-grading of non durable wood species by appropriate pyrolysis thermal treatment. EU Brite-Euram III-program, project BRE-CT-5006. 30.3.1998.

Viitanen, H., Jämsä, S., Paajanen, L., Viitaniemi, P. 1994. The effect of heat treatment on the properties of spruce. Preliminary report. Paper prepared for the 25th Annual Meeting, Bali, Indonesia May 29 - June 3. 1994.

Viitaniemi, P. ja Jämsä, S., Heat treatment of wood, esitelmä Puu ja Metsä 2001- messujen yhteydessä järjestetyssä seminaarissa 6.9.2001.

Viitaniemi, P. ja Jämsä, S., Puun modifiointi lämpökäsittelyllä, VTT julkaisuja 814, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo, 1996.

Viitaniemi, P., Jämsä, S. Paajanen, L. Modifioidun puun reaktiomekanismit. Metsäalan tutkimusohjelma Wood Wisdom. Vuosikirja 1999. Raportti 2. Paavilainen, L. (toim). Metsäalan tutkimusohjelma. Helsinki (2000), s.121 - 125 ISBN952-9621-88-4.

Viitaniemi, P., Jämsä, S., Paajanen, L. Modifioidun puun reaktiomekanismit. Metsäalan tutkimusohjelma Wood Wisdom. Vuosikirja 1998. Raportti 1/1999. Paavilainen, L. (toim). Metsäalan tutkimusohjelma. Helsinki (1999), s.103 - 105 ISBN 951-53-1434-8.

Viitaniemi, P., Jämsä, S., Vuorinen, T.Sundholm, F., Maunu, S-L., Paakkari, T. Modifioidun puun reaktiomekanismit, hanke-esittely. Wood Wisdom Metsäalan tutkimusohjelman tiedotuslehti (1999) No: 2, 3 - 5.

Patent application FI 20000101.2000. Menetelmä lämpömodifioidun puun modifiointiasteen toteamiseksi. VTT, Finland, (Viitaniemi, P., Jämsä, S. ja Sundholm, F.).Appl.. 20000101, 18.1.2000. 13 p.

Pat. FI 104285 1999. Menetelmä selluloosapohjaisten tuotteiden biohajoamiskestävyyden ja mittapysyvyyden parantamiseksi. VTT (Viitaniemi, Pertti; Jämsä, Saila; Ek, Pentti; Viitanen, Hannu). Hakemusnumero 955391, hakemispäivä 09.11.95. Julkaisupäivä 15.12.99. 17 s. + liitteet 12 s.

Pat.US-5678324, 1997. Method for improving biodegradation resistance and dimensional stability of cellulosic products. VTT (Viitaniemi, P., Jämsä, S., Ek, P. and Viitanen H.) Appl.545791, 13.5.1994. Publ. 21.10.1997. 18 p.

Pat. EP 0695408 (BE,DE,FR,ES,IT,AT,GR,PT,NL,IE,GB,CH), 2001. Method for improving biodegradation resistance and dimensional stability of cellulosic products. VTT (Viitaniemi, P., Jämsä, S., Ek, P. and Viitanen H.). Appl. 94915166.6, 13.5.1994. Publ. 10.1.2001.

Pat. FI 104286. 1999. Menetelmä puun sisähalkeamien estämiseksi. VTT (Viitaniemi, Pertti; Jämsä, Saila; Ek, Pentti ja Ranta-Maunus Alpo). Hakemusnumero 942209, 11.05.94. Julkaisupäivä 15.12.99. 6 s. + liitt. 4 s.

Pat. FI 103834, 1999. Menetelmä puun kuivaamiseksi. VTT (Viitaniemi, Pertti; Jämsä, Saila; Ek, Pentti). Hakemusnumero 942210, hakemispäivä 11.05.1994. Julk. 30.09.99. 6 s. + liitt. 4 s.

Pat. EP-0759137 (SE, DK, NL, GB, FR, DE), 1998. Method for processing of wood at elevated temperatures. VTT (Viitaniemi, P., Ranta-Maunus, A., Jämsä, S. and Ek, P). Appl. EP95918005, 11.5.1995. Publ.4.2.1998. 10 p.