



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Bruna Francisca Mendes Ribeiro

**Industrialização na construção –
A madeira como solução modular**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Bruna Francisca Mendes Ribeiro

**Industrialização na construção –
A madeira como solução modular**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob orientação
Professor Doutor Jorge Manuel Branco

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores, em especial ao Professor Doutor Jorge M. Branco pela partilha de conhecimento e cooperação demonstrados em todas as etapas, sempre com uma visão clara do rumo da dissertação.

À Mafalda Fontes, pela disponibilidade e a ajuda que mostrou, tendo sido fundamental para atingir a arquitetura notável bem como as projeções a três dimensões, ambas apresentadas ao longo da dissertação.

À minha família que me apoiaram no decorrer da dissertação com palavras de ânimo nos dias em que não conseguia cumprir os objetivos que tinha traçado e com alegria e entusiasmo quando conseguia superar os entraves que apareceram durante o desenvolvimento da tese.

Ao João pelo apoio incondicional, cooperação, alegria e tranquilidade ao longo da dissertação como em todos os meus projetos e sonhos.

Ao Tiago, ao Luís, à Luana, ao Hugo e à Sueli pelo companheirismo ao longo destes 5 anos, onde partilhamos muitos momentos e que tornaram esta experiência mais enriquecedora e completa.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho acadêmico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

É sabido que as alterações climáticas que o planeta sofre na atualidade irão aumentar se o Homem não alterar o seu comportamento. Uma vez que o setor da construção representa elevados impactos ambientais, novas formas de construir estão em desenvolvimento enquanto outras que tinham sido esquecidas voltam a ser repensadas. A construção em madeira é um conceito antigo que foi ultrapassado pela utilização do aço e do betão, mas que está a ressurgir. Este renascimento resulta de ser um material natural, renovável, de fácil manuseamento com a capacidade de sequestrar dióxido de carbono da atmosfera. Contudo, e em particular em Portugal, é a falta de conhecimento, de know-how sobre este material de construção que representa o grande entrave ao seu avanço no mercado da construção.

A construção modular e a construção com recurso a elementos pré-fabricados são conceitos similares, mas que não significam o mesmo. A construção recorrendo a elementos pré-fabricados é um conceito híbrido entre construção tradicional e a construção modular, no qual se recorre à produção em fábrica com posterior colocação e montagem em obra seguindo os procedimentos in-situ da construção convencional. Já a construção modular é caracterizada por uma construção totalmente off-site, com produção em ambiente de fábrica, transportando os elementos em formato bidimensional (2D) para obra, como paredes, pavimentos e lajes, ou transportando elementos tridimensionais (3D), também conhecidos por módulos, para a obra.

Esta dissertação tem como principal objetivo abordar o estudo da madeira enquanto material de construção modular recolhendo e analisando exemplos de como esta solução construtiva pode ser aplicada em edifícios. Procuram-se aplicações onde existe um alto nível de replicabilidade das áreas internas do edifício, como são exemplos as residências universitárias e seniores, os edifícios de escritórios, as escolas, os hospitais, entre outros. Com o conhecimento aprofundado das capacidades da madeira e as suas aplicabilidades, seguiu-se para a utilização da madeira em conjunto com a construção modular. Foi projetado um módulo com o objetivo de aplicar em residências universitárias, mas com potencial de ajustar a outras finalidades. Assim, projetou-se o módulo a nível estrutural, térmico, acústico, sustentável, de abastecimento e drenagem de águas bem como o seu comportamento ao fogo de acordo com as normas importadas para cada especialidade.

Palavras-Chave

Construção Modular, Madeira, Módulos, Sustentabilidade

ABSTRACT

It is well known that the climate changes that the planet is currently undergoing will increase if man does not change his behavior. Since the construction sector represents high environmental impacts, new ways of building are being developed while others that had been forgotten are being rethought. Timber construction is an old concept that has been overtaken by the use of steel and concrete, but it is making a resurgence. This revival is a result of wood being a natural, renewable, easy-to-handle material with the ability to sequester carbon dioxide from the atmosphere.

Modular construction and prefabricated construction are similar concepts but they do not mean the same thing. Construction using prefabricated elements is a hybrid concept between traditional construction and modular construction, in which factory production is used with subsequent placement and assembly on site following the in-situ procedures of conventional construction. Modular construction, on the other hand, is characterized by a totally off-site construction, with production in a factory environment, transporting the elements in two-dimensional (2D) format to the construction site, such as walls, floors, and slabs, or transporting three-dimensional (3D) elements, also known as modules, to the construction site.

The main objective of this dissertation is to approach the study of wood as a modular construction material by collecting and analyzing examples of how this constructive solution can be applied in buildings. Applications are sought where there is a high level of replicability of the internal areas of the building, such as university and senior residences, office buildings, schools, and hospitals, among others. With the in-depth knowledge of the capabilities of wood and its applicability's, we moved on to the use of wood in conjunction with modular construction. A module was designed with the goal of application in university residences but with the potential to be adjusted to other purposes. Thus, the module was designed at the structural, thermal, acoustic, sustainable, water supply and drainage levels, as well as its behavior under fire according to the relevant standards for each specialty.

KEYWORDS

Modular Construction, Modules, Sustainability, Wood

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vi
Índice	vii
Índice de Figuras	x
Índice de Tabelas.....	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	14
CAPÍTULO 1	16
Introdução.....	16
CAPÍTULO 2	20
Revisão Da Literatura.....	20
2.1. A Evolução da Construção Modular.....	20
2.1.1. Arquitetura Modular vs Construção Modular	22
2.2. Sistemas de Construção Modular	23
2.2.1. Painéis 2D	24
Empresas que usam painéis 2D	27
2.2.2. Módulos 3D.....	28
Exemplos De Empresas que utilizam módulos 3D	34
CAPÍTULO 3	38
Madeira, Derivados E As Suas Propriedades.....	38
3.1. Contexto histórico.....	38
3.2. Madeira e os seus derivados	41
3.2.1. Madeira lamelada colada ou Glulam	44
3.3.3. Madeira Microlaminada ou LVL	46
3.2.2. Madeira lamelada cruzada colada ou CLT	48
3.3.4. Madeira Modificada.....	50
3.3.4.1. Modificação térmica	51
3.3.4.2. Modificação Química	52
3.3.4.3. Modificação da Superfície.....	52
3.3.4.4. Modificação por Impregnação.....	53
CAPÍTULO 4	54
Metodologia e conceção da solução modular.....	54

4.1.	Limitações de Conceção	54
4.1.1.	Normas Restritivas	54
4.1.2.	Limitações de Produção	55
4.1.3.	Restrições de Transporte	55
4.1.4.	Restrições de Manobras	55
4.2.	Arquitetura.....	56
4.3.	Conceção do Módulo.....	57
4.4.	Análise Estrutural	59
4.4.1.	Paredes Exteriores	59
4.4.2.	Paredes Interiores	59
4.4.3.	Pavimento e cobertura.....	59
4.4.4.	Ligações	59
4.5.	Modelação Estrutural no software TimberTech	60
4.6.	Análise ao Fogo	65
4.6.1.	Resistência ao fogo para elementos com acabamentos em CLT.....	65
4.6.2.	Reação ao fogo de elementos com acabamento em CLT.....	66
4.6.3.	Taxa de Carbonização	67
4.6.4.	Análise ao fogo de elementos com acabamentos em Madeira de Carvalho	67
4.6.5.	Análise ao fogo de elementos com acabamentos em Revestimento cerâmico...	69
4.6.6.	Análise ao fogo das Vigas.....	69
4.7.	Análise Térmica utilizando o software Ubakus.....	71
4.7.1.	Cobertura.....	71
4.7.2.	Piso	72
4.7.3.	Paredes Exteriores	73
4.7.4.	Parede Casa de Banho	73
4.7.5.	Parede Divisória Casa de Banho	74
4.7.6.	Análise Térmica com Recurso a EPS.....	75
4.8.	Análise à Humidade.....	78
4.9.	Análise Sustentável.....	80
4.10.	Análise Acústica	82
4.11.	Análise Abastecimento de Águas	84

4.12. Análise Drenagem de Águas Residuais	86
Conclusões	87
Futuros desenvolvimentos.....	89
Referências Bibliográficas	90
ANEXOS.....	93
Anexo I – Análise Estrutural no Programa TimberTech.....	93
Anexo II – Análise Térmica, Sustentável e Humidade com recurso ao programa Ubakus ...	208
Anexo III - Análise ao Fogo com recurso à ETA de cada material	254
Anexo IV - Análise Acústica com recurso ao programa CYPE.....	319
Anexo V - Análise de Abastecimento de Águas com o programa CYPE.....	328
Anexo VI – Análise de Drenagem de Águas Residuais com o programa CYPE	333

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Taxa normalizada de construção de habitações modulares nos Estados Unidos e no Reino Unido [2].....	21
Figura 2 - Percentagem da habitação construída off-site em 2019 [2].....	21
Figura 3 - Arquitetura Modular [11]	22
Figura 4 - Construção Modular [11].	23
Figura 5 - Sistemas 2D vs 3D [2].....	23
Figura 6 - Complexidade de edifícios modulares vs Dimensões de edifícios modulares [2] ..	24
Figura 7 - Pannel de parede [8].....	25
Figura 8 - Sistemas Estruturais. a) Sistema com paredes de fachada, b) Sistema com paredes estruturais [8].....	25
Figura 9 - Sistema ITS [9].....	26
Figura 10 - Isolamento Interno de Cortiça [9]	26
Figura 11 - Acoplagem dos vários painéis em obra [9]	26
Figura 12 - Exemplo WoodenQuark [10].....	27
Figura 13 - Dimensões máximas [10].	27
Figura 14- Composição pannel pavimento [10].....	28
Figura 15 - Composição pannel cobertura [10].....	28
Figura 16 – Cuidados a ter durante a acoplagem [11].....	29
Figura 17 - Escritórios em contentores [7].....	30
Figura 18- Estrutura para construção modular em aço leve [15].	31
Figura 19- Exemplo da utilização de Light Steel Frame[16].	32
Figura 20 - Processo de construção de módulos 3D em madeira [17].....	32
Figura 21 - Módulo Kaufmann [17].....	33
Figura 22 - Arquitetura modular do módulo da Kaufmann [17].....	33
Figura 23 – Introdução das instalações no módulo [18].	34
Figura 24 - Montagem do Módulo [18].	34
Figura 25 – Transporte do Módulo [18].....	35
Figura 26 - Acoplagem do Módulo in-situ [18].	35
Figura 27 - Exemplo TreeHouse [19].....	36
Figura 28 - Acoplagem de módulos [19].....	36
Figura 29 - Planta dormitórios da Jular [19].	37
Figura 30 - Vista do dormitório construído [19].	37

Figura 31 - Abrigos Pré-históricos [43]	38
Figura 32 – Evolução da construção em Madeira em Portugal de 1995 a 2010. Adaptado de [21]	39
Figura 33- Estrutura microscópica [23].....	41
Figura 34 - Eixos Fundamentais da madeira [23]	42
Figura 35 - Constituição plano transversal [23].	42
Figura 36 - Emissão de dióxido de carbono [19].	43
Figura 37 - Produção de Glulam [26].....	44
Figura 38 - Aspeto do CLT combinado [26].....	45
Figura 39 - Processo de fabrico de LVL [28].....	47
Figura 40 – Produção de CLT [44].	49
Figura 41 - Esquema explicativo da madeira tratada [45].....	50
Figura 42 - Processo Thermowood [46].....	51
Figura 43 - Arquitetura Módulo	56
Figura 44 – Planta para a hipótese do módulo de mobilidade reduzida.....	57
Figura 45 a) - Render do interior do Módulo	58
Figura 46 - Primeira Modelação TimberTech.....	60
Figura 47 - Segunda Modelação com 3 pisos.....	61
Figura 48 – Terceira Modelação	61
Figura 49 - Vista Painéis do Módulo	62
Figura 50 - Vista Interior do Módulo	62
Figura 51 - Módulo aberto janela	63
Figura 52 - Módulo aberto porta	63
Figura 53- Composição e esquema das paredes.....	63
Figura 54 - Ligação de corte.....	64
Figura 55- Ligação de tensão	64
Figura 56 - Resultado Final Análise Estrutural.....	64
Figura 57- Resistência ao fogo das paredes com acabamento em CLT [47].....	66
Figura 58 - Resistência ao fogo do teto em acabamento em CLT [47].....	66
Figura 59 - Reação ao fogo do CLT [47].....	67
Figura 60 - Taxa de Carbonização de elemento em CLT [47].....	67
Figura 61 - Reação ao fogo da madeira de carvalho [48]	68
Figura 62 - Taxa de carbonização de soalho de carvalho. Retirado do EN 1995-1-2.....	68
Figura 63 - Aplicação do revestimento de cerâmica de cimento [49].....	69

Figura 64 - Reação ao fogo do revestimento cerâmico de cimento[49].....	69
Figura 65 - Análise ao fogo GL 24 [50].....	70
Figura 66 - Composição Cobertura	71
Figura 67- Cobertura 3D	72
Figura 68 - Composição Piso	72
Figura 69 - Piso 3D	72
Figura 70 – Composição Paredes Exteriores.....	73
Figura 71 - Paredes Exteriores 3D	73
Figura 72 - Composição Paredes Casa de Banho.....	73
Figura 73- Paredes Casa de Banho 3D.....	74
Figura 74 - Parede divisória casa de banho Composição.....	74
Figura 75 - Parede Divisória 3D	74
Figura 76 - Primeiro resultado cobertura com EPS.....	75
Figura 77- Resultado da Análise da Cobertura com EPS.....	75
Figura 78 - Utilização de EPS nas paredes entre casa de banho	76
Figura 79 - Utilização de EPS no piso	76
Figura 80 - Utilização EPS nas Paredes Exteriores.....	77
Figura 81 - Utilização EPS nas paredes da casa de banho	77
Figura 82 - Análise Humidade Piso	78
Figura 83 - Análise Humidade Cobertura	78
Figura 84 - Análise Humidade Paredes Exteriores	79
Figura 85- Análise Humidade Paredes entre Casa de Banho.....	79
Figura 86 - Análise Humidade Paredes Chuveiro	79
Figura 87 - Potencial de aquecimento global do piso	80
Figura 88 - Gasto de energia não renovável para a construção do piso	80
Figura 89 - Potencial de Aquecimento Global a longo prazo do piso.....	81
Figura 90 - Gasto de Energia Fóssil a longo prazo do piso.....	81
Figura 91 - Exemplo composição das camadas para a análise acústica.....	82
Figura 92 - Exemplo composição teto análise acústica.....	82
Figura 93 - Compartimentos Módulo.....	83
Figura 94 - Equipamentos Sanitários	84
Figura 95 - Tubagens Abastecimento de Água	85
Figura 96 - Tubagens de Abastecimento de Águas inseridas no Módulo	85
Figura 97- Análise Drenagem de Águas Residuais.....	86

Figura 98 - Traçado Tubagens Drenagens Residuais..... 86

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Alterações das propriedades da madeira [33]. 51

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AQS - Águas quentes sanitárias
CLT – Cross Laminated Timber
Cm – Centímetros
EPS - Poliestireno expandido
ER - Edifícios Realocáveis
 $f_{m,k}$ - Resistência à flexão característica
GLT – Glued Laminated Timber
 $L_{nT,w}$ - Nível sonoro de percussão padronizado de projeto
 $L_{Ar,nT}$ - Nível de avaliação padronizado de projeto
 L_n - Índice de isolamento sonoro a sons de percussão
 $L_{n,w}$ - Índice de isolamento sonoro a sons de percussão
LSF – Light Steel Frame
LVL-C – Laminated Veneer Lumber Cross Bonded
LVL-P – Laminated Veneer Lumber Unidirectional Bonded
M - Duração da estação de aquecimento
 M_c - Quantidade de água de condensação
 M_{ev} - Máxima massa de evaporação
 $M_{ev,Tauperiode}$ - Potencial de evaporação no período de orvalho
Mm – Milímetros
MOE – Modulus of Elasticity
MPa – MegaPascal
 M_r - Reserva de secagem
 M_{ref} - Duração da estação de aquecimento de referência
MSB – Modular Steel Building
 N/mm^2 – Newton por milímetros quadrados
OSB – Oriented Strand Board
PAG - Potencial de Aquecimento Global
PUR – Poliuretano Reativo
Rolling-shear – Corte Rolante
RRAE - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios
 R_w - Índice de redução sonora

SCE - Sistema de Certificação Energética

U - Coeficiente de transmissão térmica

$U_{\text{máx}}$ - Coeficiente de transmissão térmica máximo

U_{ref} - Coeficiente de transmissão térmica de referência

λ - Condutibilidade térmica

μ - Fator de resistência à difusão do vapor de água

ρ - Massa volúmica do ar

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo elucida o intuito e os objetivos traçados para esta dissertação assim como a sua organização, de forma a atingir o objetivo final do desenvolvimento de uma solução modular para residências universitárias recorrendo a madeira.

1.1. Enquadramento da dissertação

Construção pré-fabricada e construção modular, apesar de muitas vezes confundidas, não têm o mesmo significado. A construção pré-fabricada é aquela que usando elementos produzidos em fábrica, prevê ainda operações in-situ que se assemelham à construção convencional. Um exemplo deste processo de construção é o novo Hotel B&B em Guimarães, que recorre a elementos pré-fabricados assemblados em obra, para além de uma parte considerável de trabalhos executados no local.[1]

Já a construção modular é, segundo o Modular Building Institute como sendo “um processo no qual um edifício é constituído fora do local de construção, sob condições controladas”[1]. Deste modo, entende-se que toda a construção é executada em ambiente controlado, em estaleiro ou fábrica. Este tipo de construção é composto por etapas e é caracterizado por ser uma construção padronizada, uma vez que o mesmo módulo pode ser adaptado para várias soluções [1]. Tal como o Modular Building Institute, nesta dissertação será considerada a construção modular de edifícios que foram produzidos inteiramente off-site, podendo ser acoplados elementos em obra ou em fábrica, mas cuja produção foi realizada em fábrica [2].

De uma forma muito simplificada, basta replicar o módulo as vezes necessárias, adaptando o mesmo à obra a ser executada, transportar e unir os vários módulos, como se fossem legos, tornando possível a conclusão do edifício, com um reduzido tempo de construção e de custos

controlados de estaleiro de obra, dado que esse custo está interligado com o tempo necessário para a colocação e acoplagem dos módulos. No entanto, como os módulos têm de ser transportados para obra já montados, implica que as suas dimensões sejam limitadas pela capacidade do transporte, o que é uma desvantagem para este tipo de construção [3].

Contudo, este género de construção tem várias mais-valias. As ambientais traduzem-se na redução do desperdício do material, uma vez que é feito em fábrica, utilizam apenas o material necessário para a fabricação dos módulos, encaixando assim no conceito de green-building, existindo ainda a possibilidade de reaproveitamento das estruturas, como os edifícios realocáveis (ER), que podem ser colocados em vários locais, eliminando a necessidade de criação de novos módulos [1].

Um problema associado às obras que são construídas in-situ, é que estas são condicionadas pela meteorologia, podendo atrasar o andamento da obra. Sendo a construção modular feita normalmente em locais abrigados, como pavilhões, esses possíveis atrasos são eliminados assim como é provável a redução do tempo de construção, visto que não existe a necessidade de esperar que alguma especialidade esteja completa para que a seguinte comece a ser produzida ou executada [2].

A construção modular permite ainda uma construção mais segura, eliminando alguns dos perigos e possíveis erros de execução, que são detetados antes do módulo seguir para a obra, tornando este estilo de construção mais eficiente, ecológico e rápido [1] e com a utilização de ferramentas digitais, torna esta construção mais industrializada, otimizando o tempo entre o design do modelo e a produção e entrega do mesmo [2].

Para além das vantagens acima referidas, a construção modular apresenta um vasto campo de aplicação, no entanto, é em edifícios que tenham um elevado grau de replicabilidade, tais como escolas, unidades hospitalares, hotéis, academias militares, entre outros, que as suas potencialidades se destacam [3].

Atualmente, a madeira tem sido procurada para a construção devido às suas propriedades e às suas vantagens como material natural, renovável e reutilizável. Assiste-se a um interesse renovado da parte do sector da construção no tema da construção modular em madeira. Um desses exemplos é a empresa BySteel, integrante do DSTgroup, que recentemente submeteu uma candidatura a uma agenda mobilizadora direcionada ao tema geral da construção modular.

1.2. Objetivos da dissertação

Com o aquecimento global e as alterações climáticas, as pessoas procuram ser mais conscientes nas escolhas que tomam. A construção tem vindo a se adaptar e a explorar novas soluções construtivas que possuam um impacto menos negativo no ambiente. Nesta ótica, há uma procura na utilização de materiais mais sustentáveis. Tem associadas a si inúmeras vantagens, desde ser um material natural, reutilizável, fácil de manusear, de preço acessível, a capacidade de absorção de carbono, entre outras [5].

Logo, utilizando as vantagens da construção modular e as de utilizar a madeira como material estrutural cria-se uma solução construtiva que contribui positivamente para a redução de carbono presente no ambiente, ao contrário dos restantes materiais, e que assegura o mesmo conforto e durabilidade das outras formas de construção. Os objetivos desta dissertação passam por:

- Estudo da madeira e dos seus derivados enquanto materiais de construção;
- Criação de um módulo 3D para aplicação em residências universitárias, passível de ser ajustado para outras aplicações;
- Modelação desse mesmo módulo utilizando a ferramenta TimberTech para a análise estrutural, a ferramenta Ubakus para a análise térmica, o CYPE para a análise acústica, abastecimento e drenagem de águas e de resistência ao fogo foi feita a partir da ETA (European Technical Approval) de cada componente.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em 3 partes:

A primeira parte refere-se a um enquadramento da construção modular, a sua evolução ao longo do tempo até à atualidade com exemplos ilustrativos assim como os materiais que podem ser utilizados e o que difere na construção devido ao material utilizado. É apresentado ainda propostas de soluções modulares em madeira utilizadas por empresas internacionais e nacionais como exemplos de construção modular.

Na segunda parte são abordados os derivados da madeira, o seu contexto histórico bem como o seu processo de produção, características e possíveis aplicações.

Por fim, na terceira parte, apresentação o processo de desenvolvimento do módulo para residências universitárias, com as justificações para as decisões tomadas e a análise estrutural, térmica, acústica, sustentável, abastecimento e drenagem de águas e de resistência ao fogo com o objetivo de assegurar que o módulo respeita todas as normas em vigor de modo a poder ser construído tal como projetado.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo aborda-se a evolução histórica da construção modular. Está dividido em 5 partes: A evolução da construção modular, os materiais que podem ser empregues, os prós e contras associados a cada material, bem como os seus campos de aplicação. Este capítulo pretende explicar de uma forma sucinta o que é a construção modular, diferenciando-a da construção com recurso a elementos pré-fabricados, conceitos similares que frequentemente são confundidos e, adicionalmente, aborda-se a diferença entre a arquitetura modular e a construção modular.

2.1. A Evolução da Construção Modular

A criação da construção modular iniciou-se no século XIX, mais precisamente em 1837, com o carpinteiro Henry Manning, que projetou e construiu o primeiro edifício modular, com o fim que o seu filho tivesse onde viver quando partir-se para a Austrália [4]. Henry construiu a casa do filho e enviou-a em peças para a Austrália onde o filho as uniu.

Devido à sua praticidade de montagem e facilidade em mover, foi a construção modular o sistema construtivo escolhido para a construção de edifícios aquando da corrida ao ouro, que provocou uma emigração de mais de 300.000 pessoas para a Califórnia entre 1848 e 1855, de forma a poder albergar todas as pessoas num curto espaço de tempo [4].

Após a Segunda Guerra Mundial surgiu mais uma vez a necessidade de reerguer o que foi destruído. No Reino Unido, optaram pela construção modular dado que é uma solução rápida e eficiente sendo que várias destas casas ainda existem na atualidade, apesar da sua construção ter sido anunciada como uma medida temporária [5] (Figura 1).

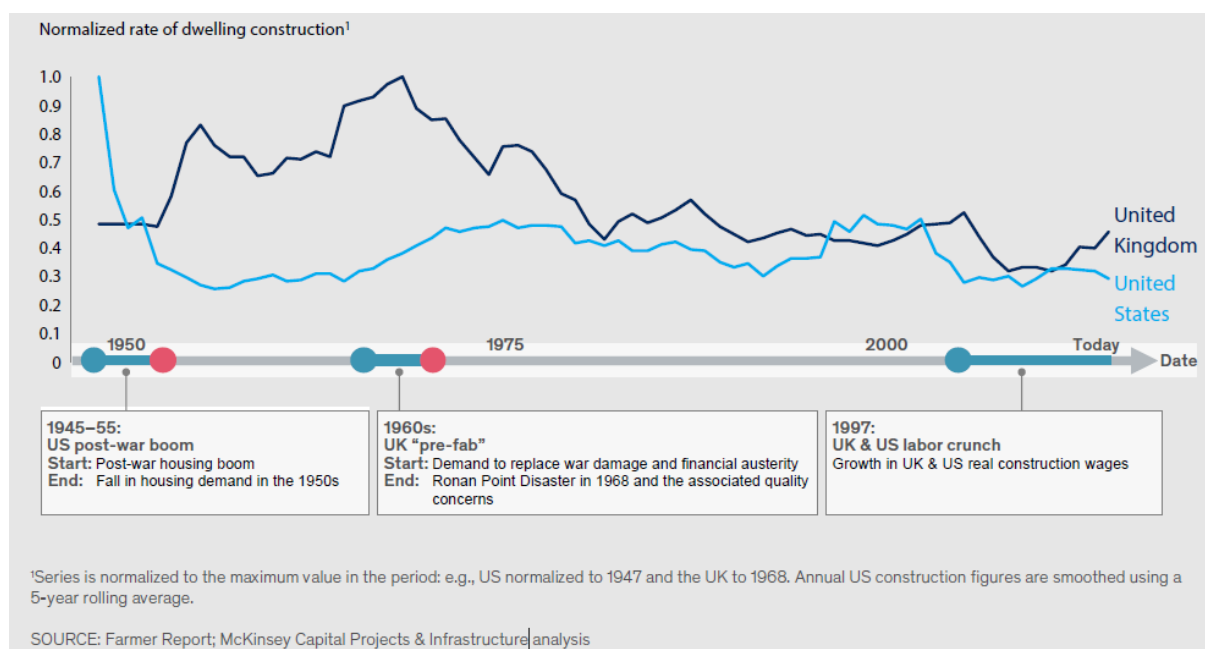


Figura 1 - Taxa normalizada de construção de habitações modulares nos Estados Unidos e no Reino Unido [2].

Atualmente, a construção modular já não é vista como uma construção frágil e de baixo custo, tendo evoluído para uma imagem de construção verde e sustentável, para a qual muito contribuiu a introdução de materiais naturais como a madeira.

A construção modular está no presente a ser empregue em hotéis, prédios habitacionais, escritórios, hospitais e escolas [6]. No entanto, nas habitações, principalmente em moradias, este estilo de construção ainda não é utilizado com frequência. Em 2019, 45% da habitação construída nos países nórdicos (Finlândia, Noruega e Suécia) é off-site, 15% no Japão, apenas 5% na Austrália, Reino Unido e 3% nos Estados Unidos (Figura 2).

Current offsite share of housing, %

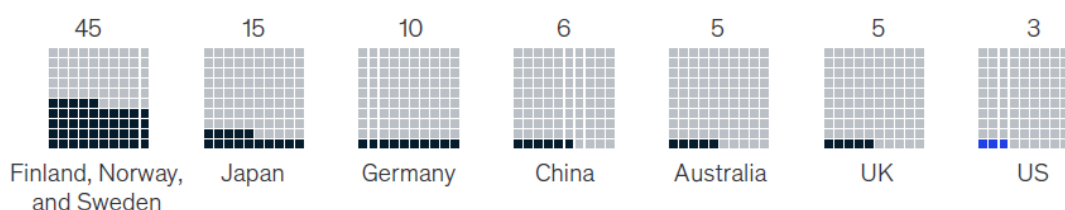


Figura 2 - Percentagem da habitação construída off-site em 2019 [2].

Apesar de se abordar a construção modular como um todo, esta varia consoante o material ou a combinação de materiais utilizados na sua execução e o próprio edifício a construir.

2.1.1. Arquitetura Modular vs Construção Modular

A arquitetura modular e a construção modular são conceitos que se interligam, mas que não significam o mesmo. A arquitetura modular é caracterizada pela organização espacial do módulo, assim como as dimensões do módulo e as divisões no seu interior (Figura 3). Estas decisões recaem sobre o arquiteto uma vez que é ele o responsável pela arquitetura do módulo.

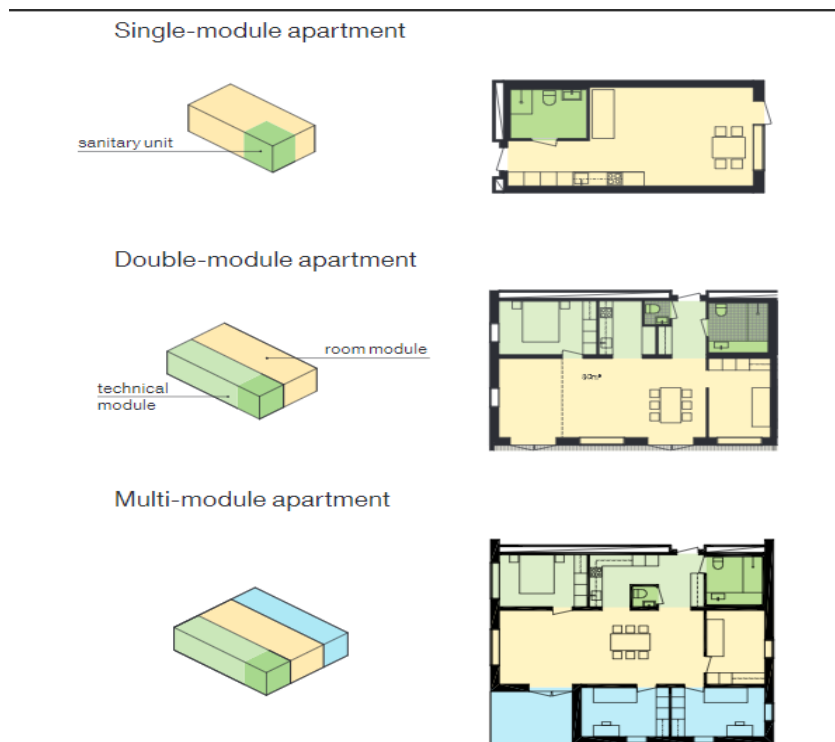


Figura 3 - Arquitetura Modular [11]

Já a construção modular é responsável pela materialização do projeto, isto é, o processo de construção é escolhido pelo Engenheiro Civil responsável pelo projeto. Quer seja construção modular em duas dimensões ou em três dimensões, é o engenheiro que toma essa decisão (Figura 4).

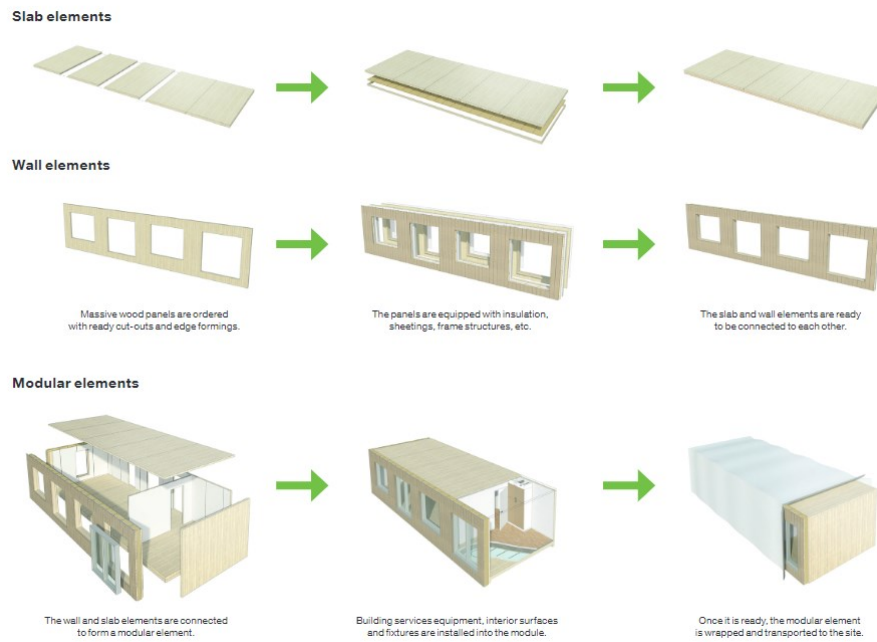


Figura 4 - Construção Modular [11].

2.2. Sistemas de Construção Modular

Os sistemas utilizados na construção modular dividem-se nos sistemas a duas dimensões (2D) e a três dimensões (3D). O projeto a construir irá determinar qual o melhor método de construção a adotar. O sistema a duas dimensões é caracterizado pelo uso de painéis, este permite uma arquitetura mais flexível bem como uma logística associada mais simplificada enquanto o sistema a três dimensões, formado por módulos volumétricos, é capaz de ser produzido a partir de uma linha de montagem e de repetições sucessivas, levando a uma redução dos custos de construção (Figura 5).

A project's specific requirements will determine the choice of modular system.

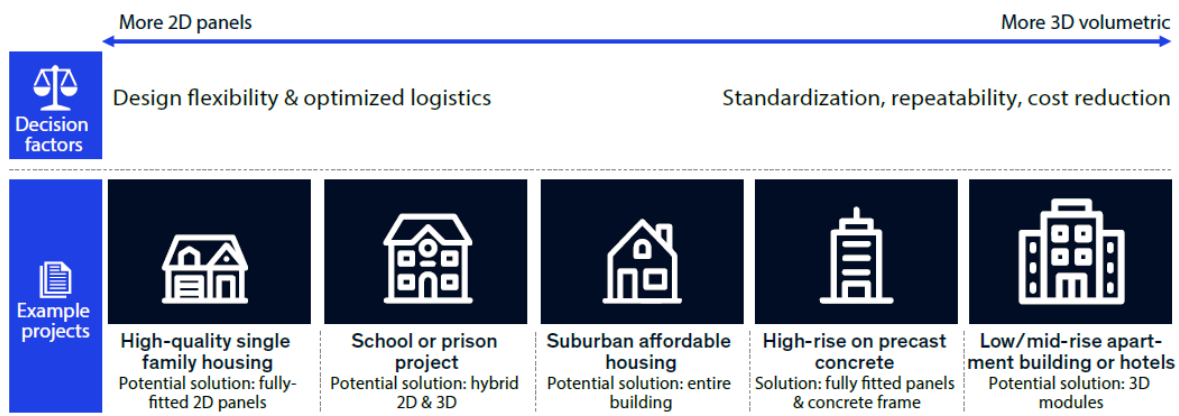


Figura 5 - Sistemas 2D vs 3D [2].

Na construção modular 2D os painéis seguem para obras e só no local é que são acoplados entre si, formando áreas distintas, enquanto os módulos 3D seguem já acoplados para a obra. A Figura 6 ilustra a diferença entre construção modular 2D e 3D de forma visual. A construção 2D aparece na segunda coluna da imagem, representada pelos painéis, que pode ficar por aí ou então acoplar os vários painéis em fábrica, dando origem a módulos 3D, como apresentado na terceira coluna da imagem abaixo.

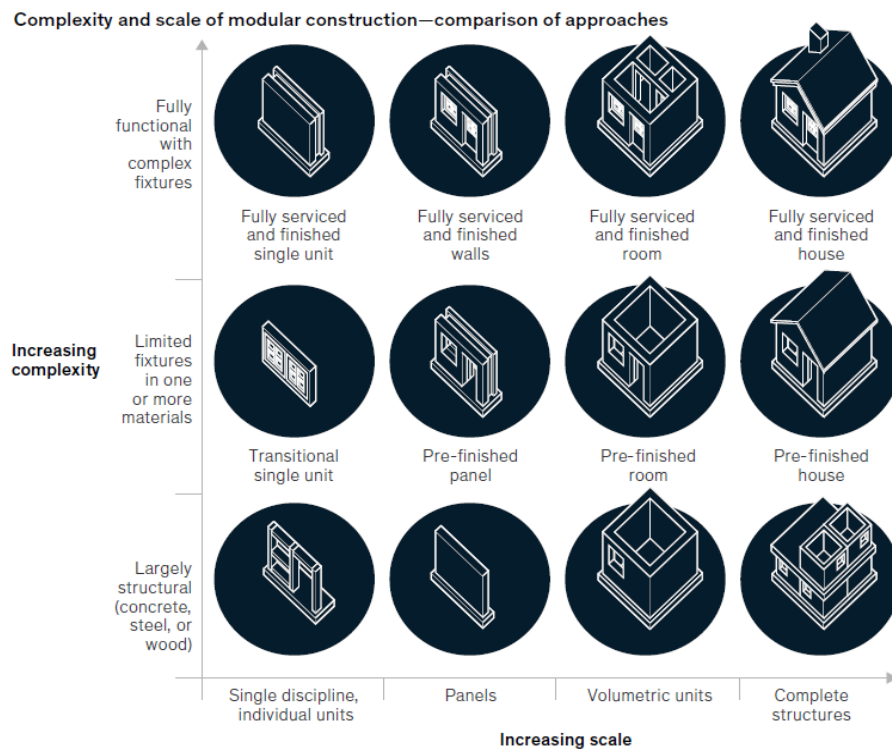


Figura 6 - Complexidade de edifícios modulares vs Dimensões de edifícios modulares [2]

Existe um sistema híbrido, que combina módulos 3D com painéis 2D, otimizando a produtividade pelas áreas construídas com módulos 3D, normalmente áreas sujeitas a humidade, como as casas de banho, e a flexibilidade nas restantes áreas com a utilização de painéis 2D [2]. Comparativamente à construção tradicional, a construção em painéis 2D oferece uma redução de custos de cerca de 17%, o sistema híbrido de 20% e os módulos 3D oferecem uma redução de 24% [2].

2.2.1. Painéis 2D

Os painéis 2D são fabricados off-site e transportados para obra, tendo uma logística simples comparativamente ao transporte de módulos 3D.

Um exemplo de construção modular 2D é a construção com recurso a betão fabricado off-site. Ao contrário dos outros materiais usados na construção modular, o betão tem alta resistência

ao fogo e um bom isolamento tanto sonoro como térmico [7]. Ao ser produzido em fábrica, a qualidade do betão costuma ser mais alta que a do betão in-situ, uma vez que a sua construção é mais cuidada e mais controlada, dando origem a um betão com uma melhor textura e um melhor comportamento em comparação ao betão feito em obra [7]. No entanto, o betão tem um maior peso associado, dificultando a sua colocação em obra. Esta fabricação pode dar origem a paredes estruturais ou não estruturais (Figura 7), podendo ser utilizadas em habitações e escritórios quando aplicadas horizontalmente ou em armazéns quando aplicadas verticalmente [8].



Figura 7 - Painel de parede [8].

Com as paredes em painéis é possível criar sistemas estruturais (Figura 8). No caso das paredes não estruturais, o sistema utiliza-se usualmente nas paredes de fachadas tipo cortina, uma vez que estas apenas têm como função de vedar o edifício, enquanto as paredes interiores têm uma função de suporte de carga, sendo estas as paredes estruturais do edifício.

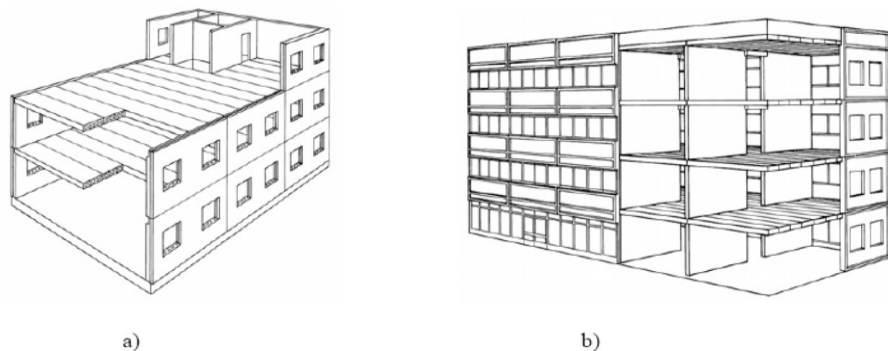


Figura 8 - Sistemas Estruturais. a) Sistema com paredes de fachada, b) Sistema com paredes estruturais [8].

Sendo possível criar painéis para as lajes e aliando esses aos painéis de parede, é possível produzir sistemas estruturais como o sistema em painéis estruturais, que pode ser utilizado em edifícios como moradias, apartamentos, hotéis, escolas, entre outros [8].

Outra forma de construção modular em 2D passa pela utilização de madeira na construção. O sistema ITS(Insulated Timber System) utiliza painéis autoportantes, que consistem em painéis de madeira lamelada colada, revestido no seu interior com cortiça, com o objetivo de melhorar o seu desempenho térmico [9] (Figura 9 e 10).



Figura 9 - Isolamento Interno de Cortiça [9].



Figura 10 - Sistema ITS [9].

Ao acoplar os vários painéis em obra, o edifício vai ganhando forma, como apresentado na Figura 11.



Figura 11 - Acoplagem dos vários painéis em obra [9].

Empresas que usam painéis 2D

Já em Portugal, a empresa Portilame apostou no ramo das construções modulares com madeira.

Esta é integralmente constituída pelo Quark, um painel em madeira que, no seu interior, incorpora já isolamento e que foi pensado como um elemento base para o sistema construtivo para a construção de habitações unifamiliares modulares, (Figura 12), sendo um painel utilizado em coberturas, paredes e pavimentos [10].



Figura 12 - Exemplo WoodenQuark [10].

Um dos objetivos da Quark é a comercialização quer por inteiro quer por partes e a sua possível exportação, o que limita as dimensões máximas, uma vez que os elementos têm de poder ser transportados por camiões, limitando as medidas dos painéis de cobertura e pavimentos a $1.25 \times 3.75 \text{ m}^2$ (Figura 13) [10].

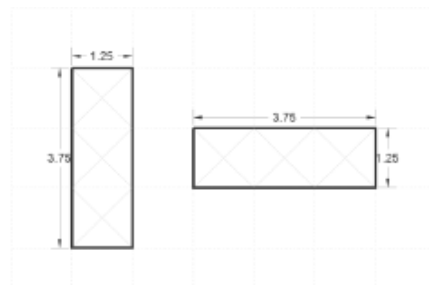


Figura 13 - Dimensões máximas [10].

Para o pavimento, o quark é constituído por uma estrutura de vigas de madeira de pequena secção que formam uma grelha entre si, onde irá apoiar placas de Oriented Strand Board (OSB), formando uma caixa que no seu interior irá conter isolamento térmico [10] (Figura 14).

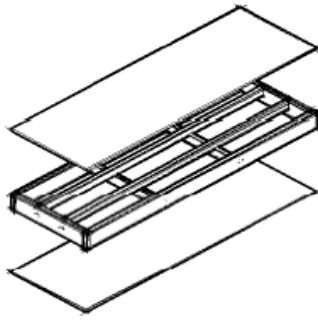


Figura 14- Composição painel pavimento [10].

Na cobertura a base é a mesma, variando a placa inferior que é composta por melamina, em oposição ao OSB utilizado na placa de pavimentos. Na Figura 15, a letra A representa a placa superior em OSB, a letra B a placa inferior em melamina e a letra C o isolamento térmico [10].

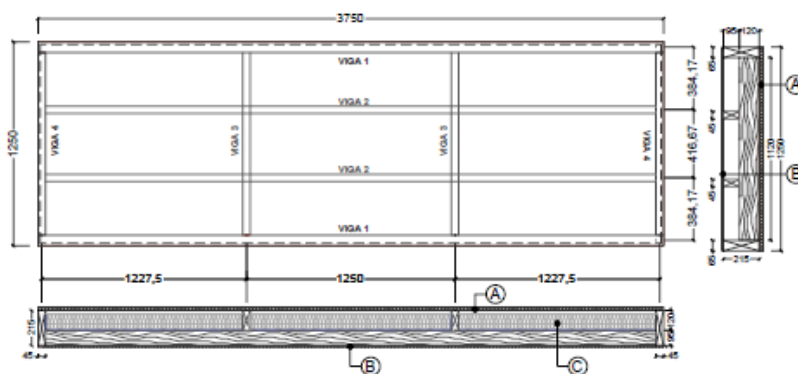


Figura 15 - Composição painel cobertura [10].

2.2.2. Módulos 3D

Como referido, este método construtivo é utilizado para edifícios padronizados como escritórios, escolas, hotéis, enfermarias, entre outros. Sendo módulos totalmente equipados, o trabalho in-situ é reduzido para a acoplagem dos módulos entre si, o que potencia uma máxima eficácia e economia de tempo na construção do edifício [2].

Para a acoplagem dos módulos existem cuidados a ter como cobrir os módulos temporariamente enquanto a obra não está concluída, uma vez que apenas os módulos do topo têm telhado torna-se necessário proteger os restantes até ser finalizada a obra. Para além disso, em caso de chuva, é importante que as coberturas possam escoar a água que advém da chuva para fora dos módulos [11] (Figura 16).

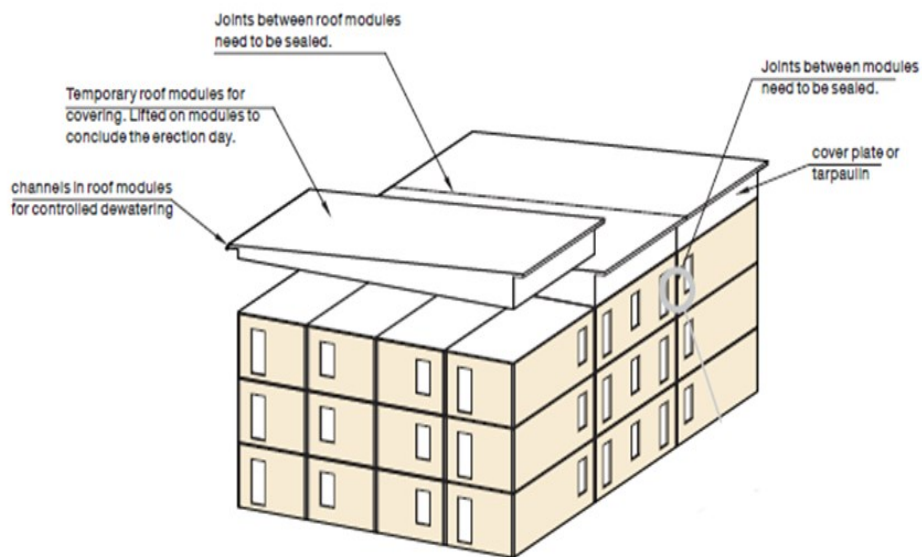


Figura 16 – Cuidados a ter durante a acoplagem [11].

Um exemplo óbvio são os contentores. Existem inúmeros contentores de transportadoras abandonados pelo mundo. Devido às suas dimensões e pelo material em que são feitos, os contentores facilmente podem-se transformar tanto para usos temporários como para usos permanentes [7]. As vantagens mais perceptíveis passam por estarem prontos a utilizar e que para transportar é bastante fácil, uma vez que são feitos para transportar conteúdo dentro deles de um local para outro. Outra vantagem óbvia passa que, se forem usados temporariamente, basta levá-los para outra localização onde o contentor pode servir outro propósito e assim continuar útil para a civilização, em vez de ficar parado em algum porto a apodrecer [7]. Existe uma empresa portuguesa chamada Westainer que utiliza contentores inutilizados e os reabilita tornando-os em piscinas, lojas, restaurantes e até mesmo habitações (Figura 17). Assim, considera-se este estilo de construção uma construção sustentável, uma vez que não se produz mais material, apenas se aproveita o que já existe.



Figura 17 - Escritórios em contentores [7].

Outro exemplo de construção modular a três dimensões é o Light Steel Frame. Light Steel Frame, ou LSF, trata-se de uma construção em aço leve, daí o Light Steel. O termo Frame advém de que o aço é responsável pelo esqueleto da construção, aliado a outros materiais, com o objetivo de suportar o edifício [12]. É composto por aço galvanizado, enformado a frio, de espessura reduzida, o que facilita a sua assemblagem e o seu fabrico [12], [13].

Teve origem nos Estados Unidos da América por volta do século XIX, época onde milhares de pessoas foram em rumo ao sonho americano, tornou-se imperativo descobrir uma solução rápida, prática, de baixo custo e com materiais de fácil acesso que pudesse albergar todos estes emigrantes [12]. Pela madeira estar a ser consumida de forma desregulada, começou a ser vetado o desmatamento de florestas para as indústrias madeireiras, o que obrigou à procura de um material com características semelhantes às que a madeira oferece e aí entra o aço, que substituiu a madeira nos meados de 1980 [12]. Em Portugal, a construção utilizando Light Steel Frame teve o seu início em 1993 e não tem vindo a diminuir, nem mesmo com as falhas dos construtores [14].

Como o aço está responsável apenas pela estrutura, tipicamente utiliza-se gesso acartonado, conhecido também por pladur ou drywall para dar forma às paredes e dar uma capacidade de isolamento tanto sonoro como acústico que o aço não é capaz de oferecer.

Associadas a esta construção temos a sua eficiência, uma vez que o mesmo módulo pode ser adaptado com múltiplas configurações com o propósito de preencher a necessidade para cada construção [15] (Figura 18).



Figura 18- Estrutura para construção modular em aço leve [15].

Além disso, tem um prazo de construção mais curto que as construções em alvenaria, resistência elevada em comparação ao seu peso próprio bem como a sua vantagem ambiental, uma vez que é um material 100% reciclável. Com a construção modular, existe uma redução do tempo de construção sendo possível apenas produzir a quantidade de material necessário, evitando os desperdícios e diminuindo o custo relacionado com a obra, sendo uma construção mais económica [16]. É um material incombustível, inorgânico e com propriedades estáveis. Uma vez que é fabricado, a sua produção tem de obedecer a normas estabelecidas, o que assegura a sua qualidade do aço. Sendo quimicamente estável, não existe na sua produção químicos ou humidade que possa degradar o material para além da sua consistência, que como é um material fabricado, não incorre de zonas ocas ou nós que possam fragilizar a peça como a madeira e nem necessita de uma boa secagem como o betão, bem como o facto de ser dimensionalmente estável, uma vez que não expande ou contrai em reação à variação da humidade como a madeira faz.

Vários artigos referem que o aço pode ter um comportamento aceitável ao resistir a sismos, tendo vindo a ser estudado ser utilizado em locais geográficos caracterizados como zonas de ação sísmica como é o caso do Japão.

Contudo, há que ter em atenção que existe a necessidade de mão de obra especializada para a utilização desta construção e que, na construção modular, o facto de o módulo ter de ser transportado para a obra limita as suas dimensões bem como não é aconselhado a ser utilizado em edifício com mais de 5 andares devido à fragilidade do aço a grandes cargas (Figura 19) [16].



Figura 19- Exemplo da utilização de Light Steel Frame[16].

Para além da construção com recurso a aço, existe a opção de módulos 3D em madeira. Assim como referido anteriormente basta unir os painéis 2D para obter os módulos e transportá-los para a obra para serem implementados. A empresa Kaufmann desenvolveu um sistema denominado Bausysteme que forma módulos para quartos que foram aplicados em edifícios habitacionais, escolas, hotéis e residências espalhas pela Alemanha[17] (Figura 20).

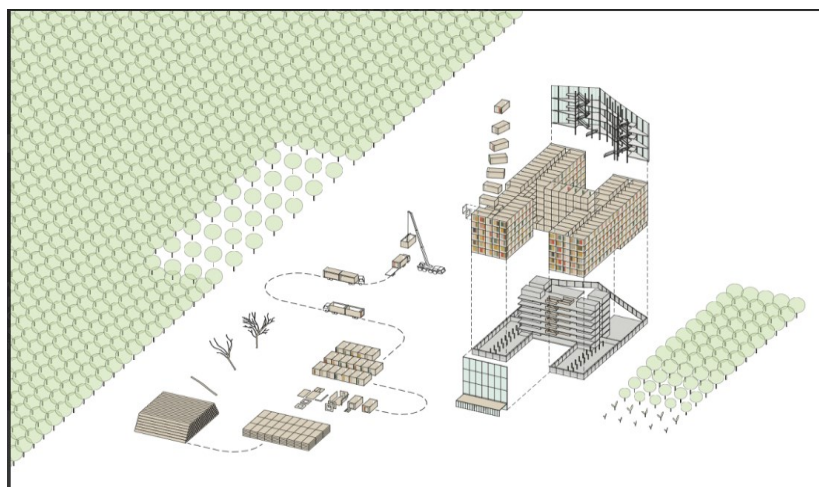


Figura 20 - Processo de construção de módulos 3D em madeira [17].

O módulo tem um aspeto semelhante ao apresentado na Figura 21, sendo materializado por madeira, podendo ter aberturas diferentes consoante a arquitetura de cada edifício.



Figura 21 - Módulo Kaufmann [17].

Já a sua disposição espacial no interior pode seguir o exemplo da imagem seguinte tendo a opção de ajustar consoante o projeto onde será inserido (Figura 22).

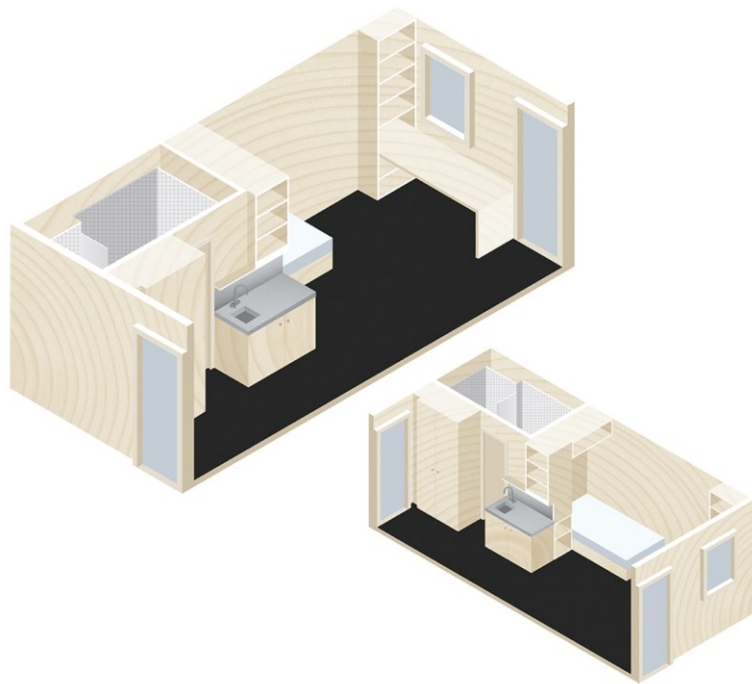


Figura 22 - Arquitetura modular do módulo da Kaufmann [17].

Exemplos De Empresas que utilizam módulos 3D

Uma empresa internacional que utiliza módulos 3D em madeira para a construção é a TecVerde, do Brasil. O sistema construtivo TecVerde destina-se à produção de construção de unidades habitacionais unifamiliares isoladas e germinadas e edifícios multifamiliares até 3 andares [18].

As lajes são estruturais e compostas por chapas e barotes de madeira tratada, onde vai ser colocado malha de aço e coberto com argamassa [18]. Previamente ao fechar dos painéis, é recortado as janelas, as esquadrias, são colocadas as instalações hidráulicas e elétricas e antes de sair de fábrica, são colocados os vidros das janelas [18] (Figura 23).



Figura 23 – Introdução das instalações no módulo [18].

Os painéis TecVerde são fechados com chapas estruturais em ambas as faces do painel. Coloca-se uma mistura com cimento como base na face exterior e na face interior coloca-se gesso cartonado [18]. A montagem do módulo acontece dentro de fábrica, assegurando um



Figura 24 - Montagem do Módulo [18].

controlo de qualidade e uma execução rápida e eficiente [18] (Figura 24).

Já no transporte, o módulo segue para obra por camião já com as instalações feitas, acabamentos e demais especificações, onde chega a obra e os módulos são acoplados por um sistema de plug'n'play, concluindo assim a construção do edifício [18] (Figura 25 e 26).



Figura 25 – Transporte do Módulo [18].



Figura 26 - Acoplagem do Módulo in-situ [18].

A nível nacional, as casas modulares Treehouse, concebidas pela empresa Portuguesa Jular, conjugam o aspeto de beleza arquitetural com a sustentabilidade e com a rápida montagem (Figura 27).



Figura 27 - Exemplo TreeHouse [19].

Cada módulo tem uma dimensão padrão de 19 ou 22 m², com a vantagem de os módulos serem acopláveis entre si, como observado na Figura 28, permitindo que estes se ajustem a diferentes funções e utilizações. As casas são totalmente produzidas em fábrica, garantindo um controlo de qualidade rigoroso [19].

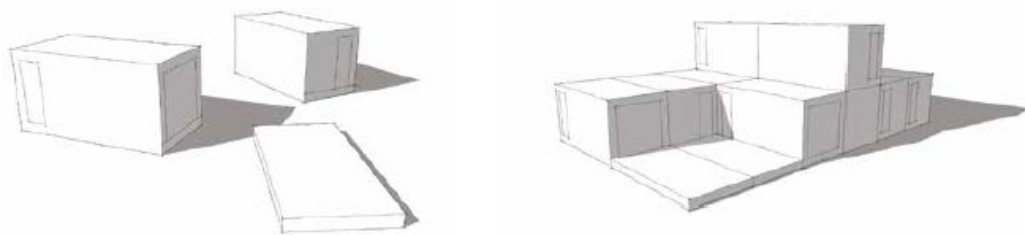


Figura 28 - Acoplagem de módulos [19].

Com uma solução arquitetural contemporânea e um design flexível, capaz de se ajustar a diferentes necessidades tanto construtivas como de utilização, este modelo tem em todas as suas superfícies, paredes, tetos e pavimento, um sistema de várias camadas (multicamadas), que promete oferecer eficiência energética, um conceito importante para o conforto dos residentes [19].

A estrutura base do módulo é composta por madeira lamelada colada, conhecido também por glulam, e Kerto, composto por elementos de madeira microlaminada, também conhecida por LVL (Laminated Veneer Lumber).

Para a cobertura, utilizam tela asfáltica sobre uma armadura de poliéster e os rufos são feitos com chapa lacada. Já a caixilharia é feita em alumínio com corte térmico e várias cores e com os vidros duplos [19]. No exterior, as fachadas são fachadas ventiladas com caixa de ar dupla com um acabamento em Pinho silvestre enquanto no seu interior as paredes e tetos são revestidos com painéis de gesso cartonado e o pavimento é com recurso a flutuante [19]. Como exemplo existe a linha Structure, que utiliza o conceito da Treehouse como por exemplo a criação de dormitórios como abaixo apresentado nas Figuras 29 e 30.



Figura 29 - Planta dormitórios da Jular [19].



Figura 30 - Vista do dormitório construído [19].

CAPÍTULO 3

MADEIRA, DERIVADOS E AS SUAS PROPRIEDADES

3.1. Contexto histórico

A madeira é o material mais antigo a ser utilizado na construção. Desde os primórdios da humanidade, o Homem construía abrigos rudimentares utilizando madeira (Figura 31) para se proteger quer da natureza quer de outros animais [20].

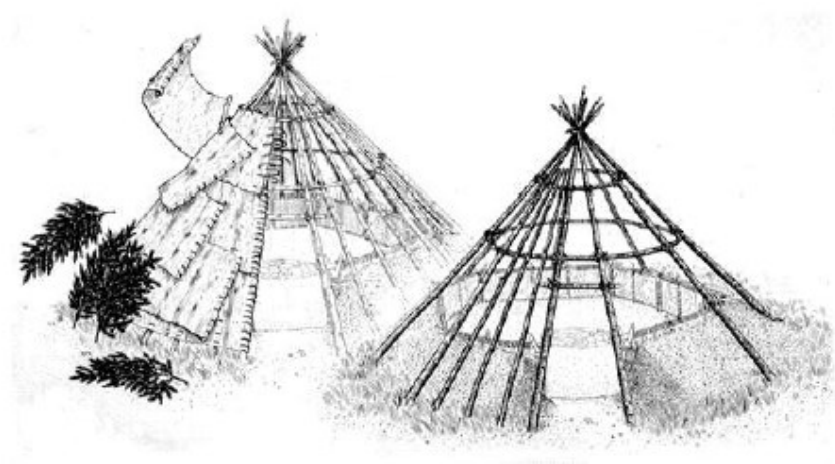


Figura 31 - Abrigos Pré-históricos [43]

A construção foi evoluindo com a Humanidade. Foram sendo introduzidos outros materiais, tais como o barro, a pedra e o ferro na construção de abrigos, de casas mais duradouras [20]. Ao longo do tempo, a construção com recurso ao betão e ao aço ganhou muita força, sendo a

primeira a mais utilizada em Portugal. Por ser um material fácil de utilizar, sem a necessidade de conhecimentos especializados, criou-se a ideia de que a madeira é um material de pouca resistência, que devido ao seu baixo módulo de deformação, não tem as características mecânicas necessárias para ser o material estrutural. Preconceito aliado à expansão do betão e do aço no mundo da construção, gerando-se o paradigma de como não se constrói em madeira, não se ensina e como não se ensina, mesmo que se queira utilizar a madeira como material estrutural, não se sabe projetar nem executar, acabando a madeira por ser utilizada maioritariamente em aplicações por razões estéticas/arquitetónicas.

Em 2011, Negrão [21] afirmou que o reaparecimento da construção da madeira no mercado português deve-se ao aparecimento dos Eurocódigos, possibilitando o dimensionamento seguro das estruturas, a construção da Altice Arena, outrora denominado Pavilhão da Utopia e pelo aumento de rendimentos nacionais nas décadas de 80 e de 90, possibilitando um aumento de construção em madeira em Portugal, tal como na Figura 32 [21].

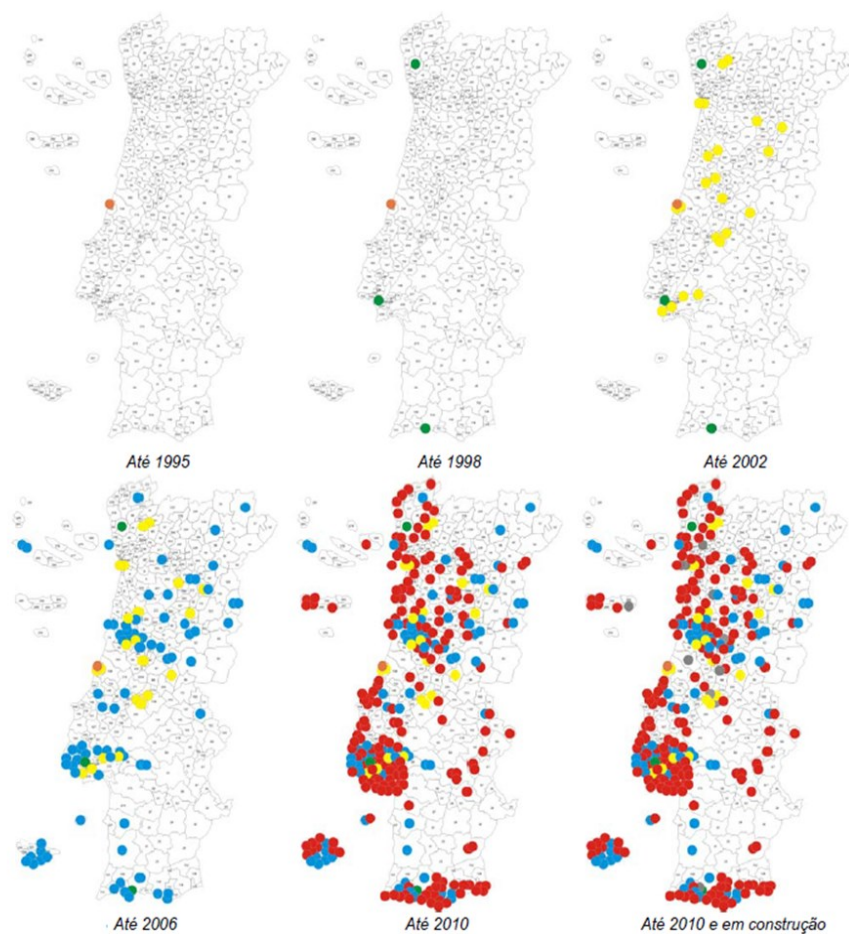


Figura 32 – Evolução da construção em Madeira em Portugal de 1995 a 2010. Adaptado de [21]

No entanto, Negrão referiu que existiam problemas na expansão desta construção no mercado português tais como:

- A falta de matéria-prima;
- A carência de conhecimento técnico para a utilização de madeira na construção;
- A escassez de recursos tecnológicos para a produção de madeira quer em dimensões quer em quantidade;
- A dificuldade de financiamento que Portugal sofria em 2010-2011, em consequência da crise financeira de 2008;
- A competitividade de empresas estrangeiras no mercado português, barrando a hipótese das empresas portuguesas de conseguir crescer em território nacional.

Agora, em 2022, o cenário da construção da madeira é distinto. Quanto à escassez de matéria-prima, nomeadamente o Pinheiro Bravo, a melhor espécie com características físico-mecânicas e dimensões possíveis para a aplicação regulada em estruturas de madeira [21], o PRR, Plano de Reestruturação e Resiliência, prevê o programa MAIS Floresta, um pacote financeiro com um dos seus objetivos a sustentabilidade e competitividade do reforço de atuação das organizações de produtores florestais (OPF). Enquanto em 2011, o preço por metro cúbico de pinheiro-bravo rondava os 300€/m³[21], agora esse valor ronda os 100€/m³, uma disparidade bastante considerável, tornado o mercado português mais competitivo aos níveis da matéria-prima. Além do programa MAIS Floresta, o PRR contempla apoios à descarbonização da Indústria, com o objetivo de atingir a neutralidade carbónica, promovendo a transição para energias renováveis e introdução de novas tecnologias e processos de produção mais sustentáveis, onde se enquadra a utilização, uma vez que a madeira como o único material renovável produzido pela Natureza [20]. Ademais, a madeira consegue retirar carbono da atmosfera, sendo outra vantagem para o objetivo da neutralidade carbónica e para atenuação das alterações climáticas [22].

Com o aumento de matéria-prima, as empresas começaram a apostar nesta indústria. Se em 2011 a AIMMP afirmava existir 250 serrações em comparação com as 300 que tinham encerrado desde o início do milénio [21], em 8 anos esse número subiu para 8700, uma subida exponencial, que demonstra a aposta que tem vindo a ser feita neste mercado.

Quanto ao conhecimento para projetar madeira infelizmente não teve um aumento, continuando a ser poucos os engenheiros capazes de dimensionar, o que tem vindo a compelir os arquitetos a trocar a madeira por outro material estrutural.

3.2. Madeira e os seus derivados

Sendo a madeira um material fibroso, a sua constituição torna-a um material distinto dos restantes utilizados na construção. Os conceitos referidos de seguida irão ajudar a perceber a composição da madeira e como é utilizada como material de construção.

A madeira é constituída por fibrilas elementares que, em conjunto, formam as microfibrilas. O agrupamento de microfibrilas compõem as paredes celulares da madeira. A espessura das paredes e o espaço vazio no interior das células altera de espécie para espécie de madeira. Essa variação é responsável pela maior ou menor leveza da peça da madeira, assim como da resistência que a espécie em média tem. A madeira quanto menos vazios incluir, mais densa esta se torna, o que leva a que ocorram pequenas trocas com o meio onde está inserida, sendo uma madeira mais estável ao longo do tempo, sendo assim mais durável [23]. Regra geral a madeira resinosa tende a ter maior vazio no interior das células, tal como observado na imagem na esquerda (Figura 33), e a madeira folhosa têm um menor espaço de vazios e uma parede celular mais espessa, como na imagem à direita (Figura 33) [23].

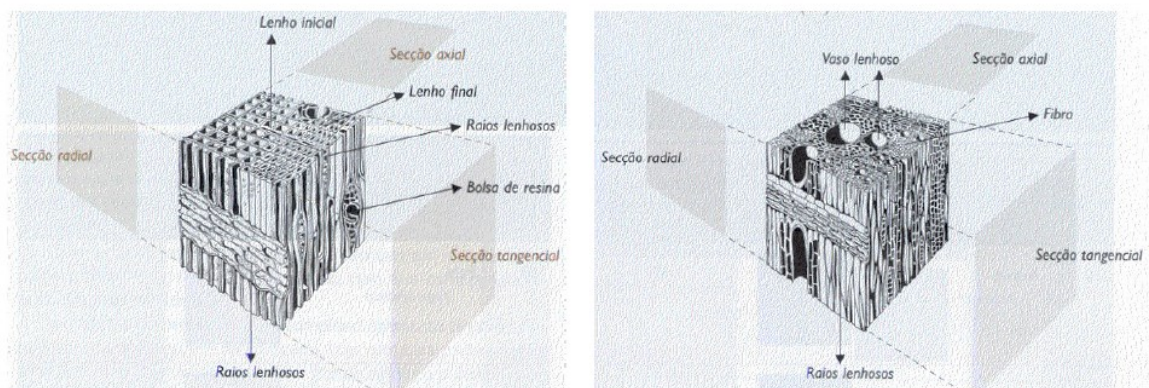


Figura 33- Estrutura microscópica [23].

Dada a heterogeneidade da madeira enquanto material, esta é normalmente descrita segundo 3 eixos fundamentais: transversal, tangencial e radial (Figura 34).

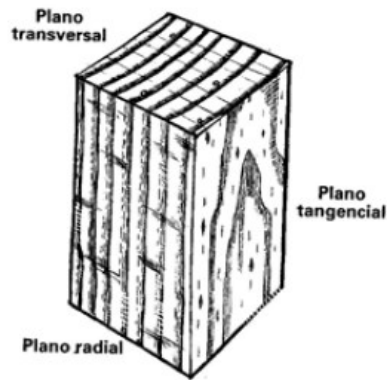


Figura 34 - Eixos Fundamentais da madeira [23]

O tronco de uma árvore é composto pela casca, borne, cerne e medula (Figura 35). A zona do tronco de onde a madeira é retirada influencia a sua trabalhabilidade assim como a capacidade da mesma ser tratada, sendo típico o borne ser mais fácil de tratar por impregnabilidade que o cerne.

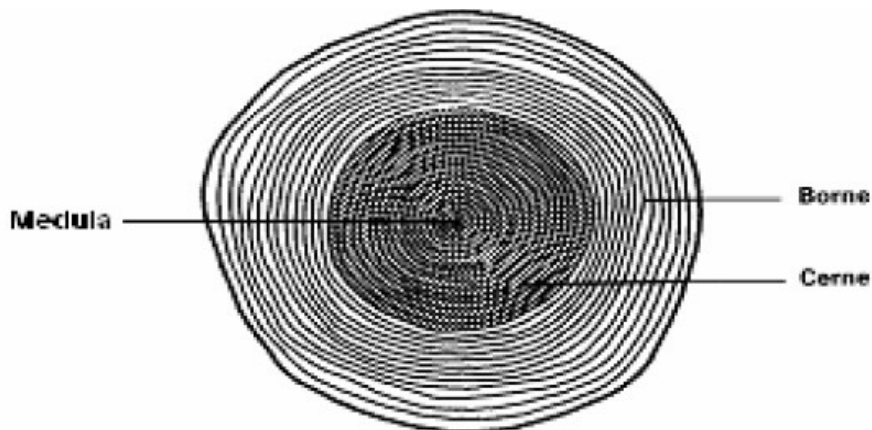


Figura 35 - Constituição plano transversal [23].

As vantagens associadas à utilização da madeira como material de construção passam por ser um material renovável e as reservas renovam-se por si mesmas, torna-se um material permanentemente disponível [24]. Além disso, o seu trabalho pode ser feito com ferramentas simples, sendo fácil de ser utilizada[20]. Ao ter uma baixa massa volúmica e uma resistência mecânica elevada, apresenta uma resistência à compressão semelhante à do betão, embora a sua resistência à flexão e ao corte pode ser até dez vezes superior à do betão [24]. Para além destas vantagens, a madeira é um bom isolante térmico, apresenta uma boa absorção acústica e tem um aspeto apelativo, razão pela qual tem sido utilizada mais em cenários arquitetónicos

que em contextos estruturais [24]. Adicionalmente, apresenta a capacidade rara de ser capaz de absorver dióxido de carbono do ambiente, ao contrário dos restantes materiais que emitem dióxido de carbono na sua produção (Figura 36) [19].

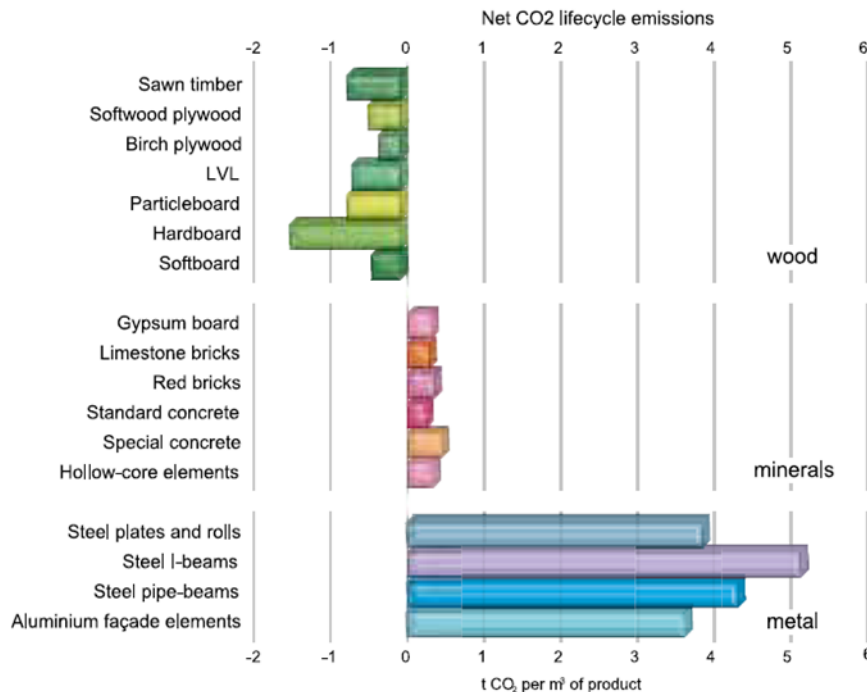


Figura 36 - Emissão de dióxido de carbono [19].

Por outro lado, a madeira é anisotrópica o que dificulta a sua utilização na construção [23]. Daí, a resistência da madeira depende muito da orientação em que a mesma é colocada. É um material natural, suscetível de degradação biológica, ataques de fungos e micro-organismos, que degradam e danificam a madeira, influenciando a sua durabilidade. Além disso, existe o mito sobre o seu comportamento ao fogo. É mais que sabido que a madeira arde. No entanto, o que muitos não sabem é que a madeira arde, a um ritmo constante de cerca de 1 cm a cada 15 minutos [25]. Além disso a madeira não ardida, sob a capa da madeira carbonizada, mantém as suas propriedades mecânicas intatas. Estas características ou comportamentos não tornam a madeira um material menos competente. Simplesmente, é um material que, como não tem sido utilizado na construção portuguesa, há um grande desconhecimento. O betão não resiste à tração e não é por isso que deixa de ser utilizado na construção.

Como consequência da necessidade de melhorar as performances da madeira maciça, e/ou de ultrapassar algumas limitações inerentes ao uso da madeira na construção, a indústria da madeira desenvolveu ao longo dos últimos séculos derivados de madeira com desempenhos melhorados.

3.2.1. Madeira lamelada colada ou Glulam

Começou a ser desenvolvido no início do século XIX na Alemanha por Otto Hetzel em 1906, tendo sido produzido em massa a partir de 1920 [26]. Como a denominação sugere, trata-se de camadas ou lamelas coladas justapostas topo a topo, isto é, quando termina a peça de madeira cola-se a próxima peça. A fixação pode ser feita verticalmente, dando origem a vigas com inércias variáveis ou horizontalmente, criando lajes e outros elementos com largura variável. Esta colagem é feita com recurso finger-joints, que traduzido para português é dedos articulados, isto porque são abertas fendas nos topos das peças de madeira de forma que as peças encaixam umas nas outras, ficando unidas devido à cola utilizada. Ultimamente tem vindo a ser utilizado poliuretano reativo (PUR), um adesivo termoplástico que aguenta qualquer clima [27]. Todas as colas utilizadas na produção dos GLT têm de ser de longa duração, uma vez que o próprio derivado tem como objetivo uma alta durabilidade.

A produção de glulam passa por cortar o tronco de madeira, retirar a água pelo processo de secagem natural da madeira até que a humidade presente na mesma esteja entre 8% e 15%, de onde a madeira vai seguir para a sua classificação. A partir daí, une-se topo a topo as peças, com recurso ao finger-joints, passa-se um rolo de modo que a superfície fique lisa, une-se as várias peças umas às outras com recurso a cola, onde até ao final da secagem da cola, as várias peças ficam sob pressão, de modo a assegurar que as mesmas ficas unidas. Finalmente, passa-se o rolo, novamente para planar a superfície e está concluída a produção de glulam [26] (Figura 37). A sua denominação final é GL24h, 24 da resistência à flexão em MPa das lamelas e o h advém de homogéneo, que indica que todas as lamelas têm a mesma resistência à flexão.

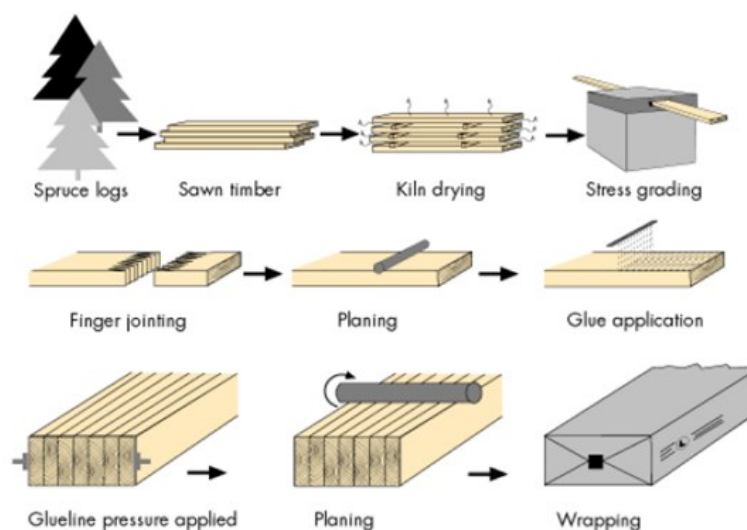


Figura 37 - Produção de Glulam [26].

Como para a produção de glulam apenas necessita de cola e em pouca quantidade, menos de 1% do peso total do glulam, é um produto que necessita de pouca energia para ser produzido. Uma característica que é bastante valiosa que está presente neste derivado deve-se que, como as suas ligações são feitas com recurso a finger-joints, os GLT podem ter as dimensões que quisermos, embora esteja condicionada pelas condições de produção e de transporte até a obra [26]. É ainda possível produzir elementos com dimensões variáveis, como pilares com maior secção em determinados locais e vigas com locais com reforço à flexão. Tem maior resistência e rigidez que a madeira maciça e quando comparado o seu peso próprio e as suas capacidades mecânicas, o glulam chega a ser mais forte que o próprio aço, o que faz com que consegue vencer vãos maiores que o aço sem a necessidade de apoios intermédios [26]. Por essa razão, este derivado tem um vasto campo de aplicações desde habitações, parques de estacionamento a pistas de ski [26].

Para além do glulam, existe o glulam combinado. Este derivado é caracterizado por conter lamelas de madeira com resistências diferentes, onde normalmente as lamelas exteriores são mais resistentes que as interiores. Trata-se de um derivado mais vantajoso em comparação com o glulam tradicional, uma vez que possui um maior aproveitamento do material pois, habitualmente, as extremidades dos elementos têm um valor superior de tensões que as fibras no interior no elemento, não sendo necessário lamelas de tal resistência no centro do elemento. Assim, como é de esperar, o preço do glulam combinado é mais económico, visto que parte do mesmo tem lamelas de resistência mais baixa, um fator que influencia o preço do derivado.

A denominação comercial do glulam combinado é GL24C, C de combinado, que pode ser obtido a partir de lamelas com resistências diferentes como por exemplo, C30/18, onde 30 é a resistência à flexão, em MPa, das fibras exteriores e 18 é a resistência à flexão, em MPa, das fibras interiores do elemento [26].

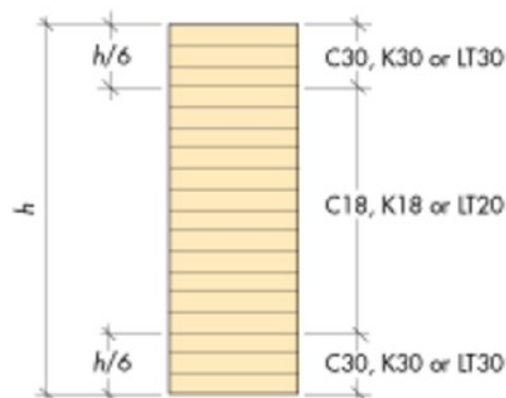


Figura 38 - Aspeto do CLT combinado [26].

Existem cuidados a ter em atenção na utilização dos glulam (GLT). Um deles está relacionado com a porosidade existente na madeira e nos seus derivados. Todos sofrem alterações quando acontecem mudanças de humidade no ambiente onde estão inseridos assim como com cargas de longos períodos, devido aos efeitos da fluência, um fenómeno que influencia bastante a madeira. Tal como a madeira maciça, a resistência a tensões perpendiculares às fibras é significativamente mais reduzida quando comparada à resistência a tensões paralelas às fibras, sendo por isso um derivado mais eficiente quando utilizado em pilares, escoras e vigas [27]. Sendo os GLT formados por ligações, é importante que nessas conexões exista um fluxo de esforços correto, quer de elementos na mesma direção quer de elementos em direções opostas.

3.3.3. Madeira Microlaminada ou LVL

A madeira microlaminada, também designada por LVL (laminated veneer lumber), é um outro derivado da madeira. Trata-se de folheados de madeira com 3 mm de espessura colados justapostos com um adesivo resistente ao clima. Foi criado nos anos de 1970, nos Estados Unidos da América, tendo sido desenvolvido por Peter Koch no Forest Products Laboratory [28]. Em 1975, uma empresa finlandesa começou a desenvolver a primeira linha de produtos em LVL para a Europa [28]. Desde aí, a produção de LVL tem vindo sempre a crescer, estando espalhada por todo o mundo, com a capacidade de criar cerca de 4 milhões de metros cúbicos por ano de LVL.

O processo de produção dos LVL começa pelo corte dos toros de madeira, que posteriormente são “descascados”, formando folheados de 3mm. Depois estes laminados passam por uma máquina que observa minuciosamente todas as imperfeições e defeitos presentes na madeira que serão cortados de acordo com parâmetros estabelecidos. Inicia-se o processo de composição de folheados. Consiste na junção de laminados que foram cortados de modo a formar um novo folheado e assim aproveitar ao máximo o produto. Posteriormente os folheados são divididos em pilhas tendo a humidade como parâmetro de distinção. A sua humidade pode estar entre os 30% e os 150%, o que obriga a condições de secagem diferentes, uma vez que o objetivo é de obter uma humidade de 5%. Segue-se para a união dos folheados com recurso a cola, que é feita na hora com a utilização de resina, água e um endurecedor, que segue para uma prensa quente que seca a cola, uma vez que depois da sua

cura, esta fica resistente à água e ao clima. Este processo de cura pode demorar entre 15 e 90 minutos, dependente da espessura do LVL. Quanto mais tempo de prensa o produto estiver, mais comprimido fica, eliminando a maioria dos vazios, ficando um produto denso uma vez que está repleto de fibras, o que aumenta a sua resistência e durabilidade. Finalmente o LVL segue para os acabamentos, como o corte para as dimensões pretendidas ou a lixagem final e está completa a produção de LVL(Figura 39) [28].

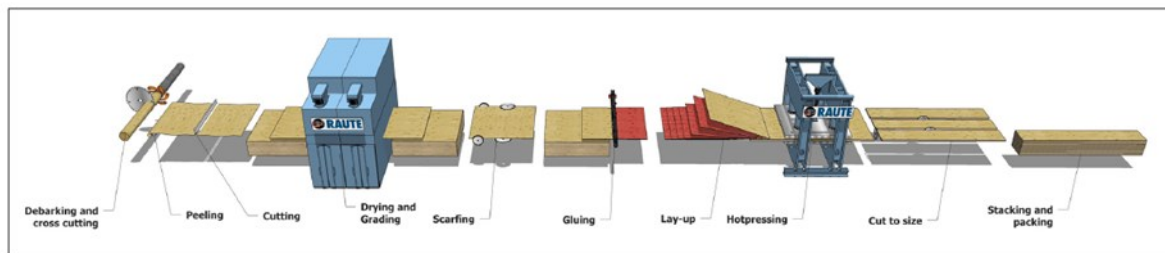


Figura 39 - Processo de fabrico de LVL [28].

A utilização deste derivado tem imensas vantagens. Comparado o peso-próprio do LVL com a sua resistência, o LVL chega a ser duas vezes mais forte que o aço [28]. Sendo um material leve, é bastante fácil de ser transportado e elevado se necessário. Além disso, como é composto por uma estrutura laminar, é um derivado estável nas várias direções, livres de deformações naturais e imperfeições, uma vez que elas são retiradas, como referido anteriormente. O LVL ao sair seco da produção, reduz o risco de encolher em obra, desde que esteja protegido do clima. Para além disso, é um derivado que se consegue fazer para medidas exatas, eliminando a existência de material desperdiçado. É bastante prático de trabalhar, sem necessidade de equipamentos especiais sendo suficiente as ferramentas normais utilizadas nas construções em madeira. Amigo do ambiente, 1 m³ de LVL é capaz de reter 789 kg de carbono, além de ser renovável e poder ser feito a partir de madeiras recicladas, poucas são as espécies que não podem ser utilizadas para a criação de LVL [28].

Os LVL subdividem-se em duas classes: LVL-P e LVL-C. A primeira classe trata-se de laminados de 3 mm todos orientados na mesma direção e unidos com um adesivo resistente à água e ao clima, como patenteado acima, podendo ser utilizados em escoras e vigas, uma vez que este esquema estrutural aumenta a resistência do material [28]. Para a sua produção utiliza-se os folheados com a maior resistência com vista em aumentar a eficiência do material e uma ótima relação peso-resistência, o que permite maiores vãos com pouca deformação. No caso das escoras, estas podem ser utilizadas para suporte ou não da estrutura. São compostas por folheados mais leves, o que leva a resistências mais baixas, mas devido às

dimensões das escoras, à sua rigidez e como não são elementos que sofrem torção, estes laminados tornam-se os ideais para as escoras.

O LVL-C difere dos acima descritos por ter cerca de 20% dos seus folheados colados na direção transversal no seu processo de fabrico. Esta diferença providencia um aumento da rigidez e da resistência a esforços transversos bem como torna o derivado dimensionalmente estável, uma vez que esses laminados cruzados impedem a expansão ou encolhimento na direção da largura do painel que ocorrem pelo contacto com a humidade presente na atmosfera onde o derivado está inserido. O LVL-C foi criado com o intuito de formar largos painéis que sejam capazes de suportar cargas, como paredes, chãos e telhados embora possa ser utilizado em treliças, reforço de estruturas e peças curvas. Entre as suas vantagens destaca-se as suas ligações serem seguras, uma vez que não sofrem fendas devido a tensões perpendiculares às fibras, conseguir produzir elementos esbeltos devido à sua alta eficiência e como são painéis grandes, a obra desenvolve-se mais rapidamente pois cobre-se mais área em tempos mais reduzidos do que comparado com a colocação de painéis de dimensões mais reduzidas, diminuindo assim o tempo de montagem em obra e os custos envolvidos.

3.2.2. Madeira lamelada cruzada colada ou CLT

O CLT foi desenvolvido na década de 1990 por carpinteiros numa tentativa de valorizar as tábuas que eram consideradas desperdício naquela altura [29]. Trata-se de um derivado com lamelas coladas de forma cruzada. Assim, ao cruzar as lamelas, reduz-se a anisotropia inerente ao material madeira, e promove-se a uniformização do comportamento nas duas direções principais do painel.

A produção dos CLT passa por cortar o tronco de madeira em tábuas, lamelas, , retirar a água pelo processo de secagem natural da madeira até que a humidade presente na mesma esteja entre 8% e 15%, de onde a madeira vai seguir para a sua classificação. A partir daí, une-se topo a topo as peças, com recurso ao finger-joints, alisa-se a superfície, une-se as várias peças umas às outras com recurso a cola, onde até ao final da secagem da cola, as várias peças ficam sob pressão. Esta pressão pode ser feita com recurso a vácuo ou a compressão hidráulica, com

o intuito de assegurar que as peças ficam unidas. Finalmente, aplica dá-se os acabamentos finais e está concluída a produção de CLT [29] (Figura 40).

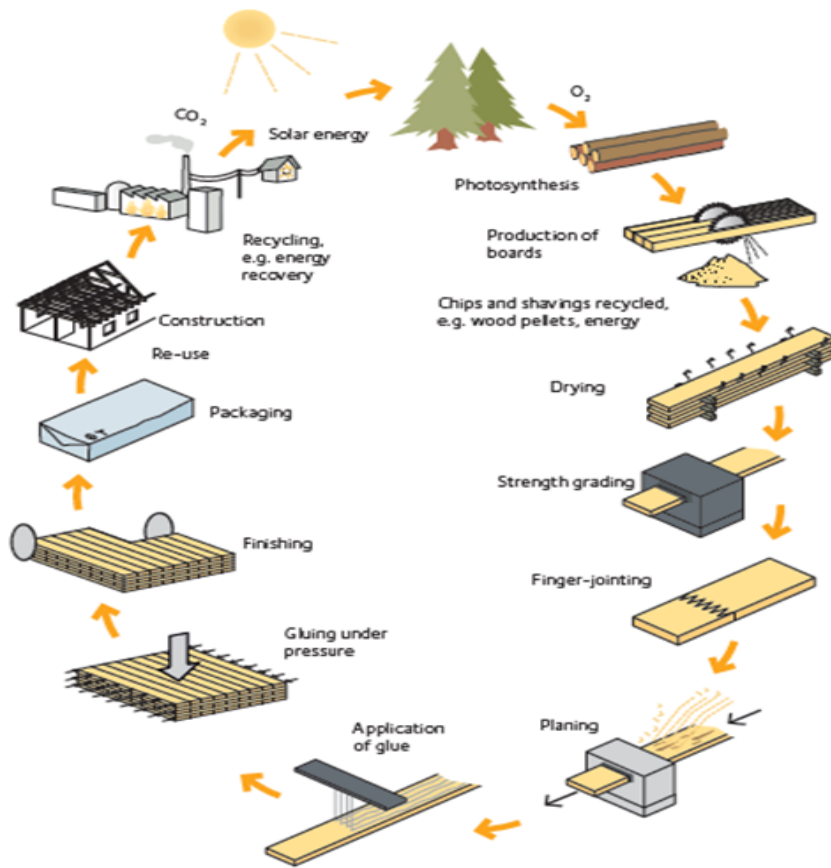


Figura 40 – Produção de CLT [44].

Este derivado costuma ser aplicado em paredes e em lajes de piso e coberturas, podendo ser também usado na forma de pilar e vigas. O modo de rotura do CLT advém normalmente do efeito “rolling shear”. Trata-se de tensões de corte na direção perpendicular às fibras da madeira, que se revelam na lamelas transversais quando as lamelas longitudinais de deformam [30]. Este derivado é já comum nos países nórdicos em prédios com vários pisos, escolas e residências. Tem alta resistência, quando comparado com o seu peso, boa capacidade de isolamento térmico e bom comportamento ao fogo [29].

3.3.4. Madeira Modificada

A modificação da madeira tem como principal objetivo o aumento da resistência à biodegradação da madeira, da sua resistência à luz violeta e um aumento da sua estabilidade dimensional, levando assim a um aumento da sua durabilidade [31], [32]. A durabilidade é uma propriedade que depende fortemente dos pormenores construtivos adotados e da durabilidade natural da madeira utilizada [31]. À modificação da madeira estão associados quatro processos: Modificação térmica, química, da superfície e impregnação [32] (Figura 41).

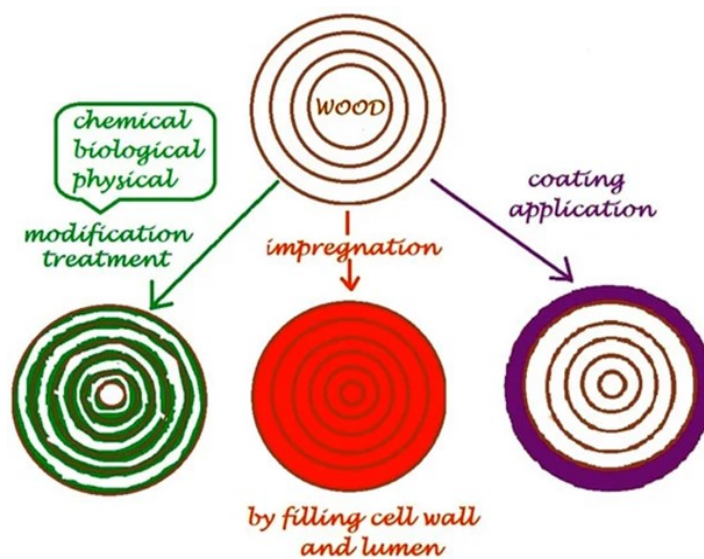


Figura 41 - Esquema explicativo da madeira tratada [45].

O conceito que está na base destas modificações passa pela redução da acessibilidade dos grupos hidroxilo, uma vez que são os principais responsáveis pela higroscopicidade [33]. A higroscopicidade é a característica que permite à madeira as trocas com o meio ambiente.

Uma vez que esta fica diminuída, a madeira torna-se mais estável contribuindo assim para uma maior durabilidade, para além de aumentar a sua resistência aos fungos, mas tendo pouco efeito no aumento da resistência contra as térmitas [32]. A desvantagem do tratamento passa pela degradação de algumas propriedades mecânicas. O aumento do módulo de elasticidade (MOE) é baixo, mas a diminuição da tensão de rotura pode ser relevante, uma vez que a madeira se torna quebradiça com a degradação das propriedades de fratura devido à perda em teor de água [32] (Tabela 1).

Tabela 1 - Alterações das propriedades da madeira [33].

Propriedade	Alteração	Referência
Humidade de equilíbrio	Redução de cerca de 40%	ESTEVES <i>et al.</i> (2007)
Estabilidade dimensional	Melhorias de ASE até 70%	ESTEVES <i>et al.</i> (2007)
Resistência contra fungos	Melhorias até perdas de massa inferiores a 2%	ESTEVES (2006)
Resistência contra térmitas	Sem melhorias significativas	ESTEVES (2006)
MOE	Diminuição inferior a 5%	ESTEVES <i>et al.</i> (2007)
Tensão de rotura	Diminuição até 40%	ESTEVES <i>et al.</i> (2007)
Molhabilidade	Diminuição mesmo para tratamentos suaves	ESTEVES (2006)
Dureza	Diminuição com a severidade do tratamento até 30%	Dados não publicados.
Resistência à colagem	Diminuição com a severidade do tratamento	Dados não publicados.
Cor	Cor mais escura com o tratamento	ESTEVES <i>et al.</i> (2008)

3.3.4.1. Modificação térmica

A modificação térmica desenvolve-se em quatro fases: Aquecimento, tratamento, arrefecimento e estabilização. Esta pode ser feita recorrendo a cinco processos: Thermowood, Plato, Bois Perdure Rectification e Oil Heat Treatment [32], [33]. Eles diferem no modo de aquecimento e de tratamento.

O Thermowood é o método mais utilizado na Europa. Foi criado na Finlândia no final de 2004 e trata-se de um aumento rápido de temperatura, utilizando tanto calor como vapor até 100°C, onde se segue um aumento até os 130°C e secagem durante 1 hora. De seguida aumenta-se a temperatura até à temperatura de tratamento, que ronda os 185°C e os 215°C, onde fica durante 2-3 horas. A seguir deixa-se arrefecer e estabilizar [33] (Figura 42).

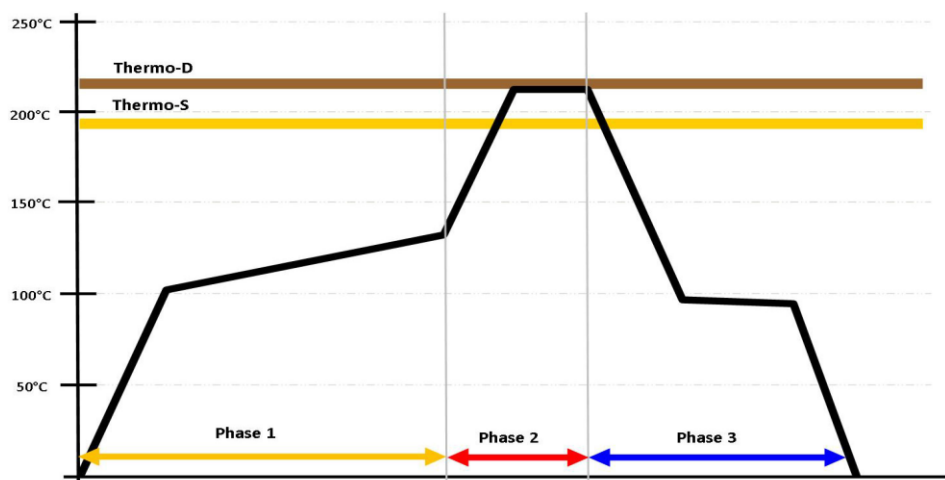


Figura 42 - Processo Thermowood [46].

O Plato é um processo que começou em 2007 nos Países Baixos e tem quatro fases: hidrotermólise, a rondar os 160-190°C, em condições húmidas e com uma pressão acima da atmosférica. Segue-se uma secagem normal até os 10% de humidade com um tratamento térmico a seco a temperaturas entre os 170-190°C a finalmente a sua estabilização [33].

Em 1997, em França criou-se o processo Rectification. A madeira com humidade de 12% é tratada numa fase, a temperaturas de 200°C - 240°C com azoto, garantindo um máximo do oxigénio de 2% [33].

Também na França, mas já nos anos de 2003 criou-se o processo Bois Perdure. Trata-se de uma secagem rápida com vapor e gases de combustão quentes produzidos pela subida da temperatura da madeira e re-injetados na câmara de combustão [33].

Por fim, na Alemanha, o processo é totalmente diferente, uma vez que utilizam óleo a altas temperaturas. Iniciou-se em 2000 e é um tratamento com óleo quente (180-240°C) num recipiente fechado que limita o teor de oxigénio [33].

3.3.4.2. Modificação Química

A modificação química trata-se da reação do grupo hidroxilo com um reagente químico. A troca do grupo hidroxilo por um componente hidrofóbico faz com que a higroscopicidade da madeira fique reduzida, tornando a madeira mais duradoura [33].

Para a modificação, utiliza-se acetilação com anidrido acético, por ser o mais eficiente dos anidridos e com maior reatividade [33].

As propriedades ficam semelhantes às da modificação térmica, uma vez que em ambas a humidade presente na madeira é reduzida, o que influencia as características da madeira como por exemplo o módulo de elasticidade. No passado foram feitas duas tentativas de comercialização da madeira acetilada, mas devido aos custos elevados levaram a que não tenha sido nos anos 70 que tenha sido comercializada este estilo de madeira [33]. Já recentemente, a companhia Titan Wood, em parceria com outras empresas, conseguiu acordos para a produção desta madeira em países, como a China, Holanda, Itália, Suíça e Áustria [33].

3.3.4.3. Modificação da Superfície

Tal como o nome indica, esta modificação apenas altera as propriedades na camada superficial da madeira, principalmente a sua capacidade de resistência à degradação pela luz solar, condições de aderência e climáticas [33].

Existem vários métodos associados à modificação da superfície como a utilização da modificação química, a termoplastificação da superfície, ativações químicas ou enzimáticas,

agentes de ligação e descarga de plasma e corona. Associadas a cada método existem as aplicações para os mesmos, como apresentado no quadro seguinte. No entanto, o problema destas modificações é o custo associado, onde se prevê que seja dada preferência a modificações mais econômicas no futuro [33].

3.3.4.4. Modificação por Impregnação

A modificação por impregnação é bastante semelhante à modificação química, distinguindo-se pelo facto de que na modificação química existe uma reação com o grupo hidroxilo e nesta modificação introduz-se um ou vários compostos químicos nas paredes celulares que reagem entre si, bloqueando o acesso ao grupo hidroxilo, reduzindo assim a higroscopicidade da madeira [33]. Tal como a modificação da superfície, o elevado preço das resinas que foram utilizadas nos primeiros tratamentos impediu a industrialização destes processos. Nos últimos anos, a impregnação da madeira tem vindo a evoluir pela furfurilação, prometendo poder ser industrializado no futuro, uma vez que o álcool furfurílico pode ser obtido a partir de produtos secundários da produção de bioetanol, composto químico que se prevê a redução do seu custo [33]. Tal como nas restantes modificações, a impregnação com álcool furfurílico leva a uma diminuição da humidade de equilíbrio, que conduz a um aumento da estabilidade dimensional da madeira e da durabilidade da madeira, reduzindo a resistência da madeira, tal como indicado na tabela 2. Este processo de impregnação foi criado na Noruega, sendo primeiramente produzido em Heröya, em 2004 [33].

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA E CONCEÇÃO DA SOLUÇÃO MODULAR

A solução modular será concebida para a aplicação em residências universitárias. No entanto, pretende-se que o mesmo possa ser aplicado noutros contextos como em enfermarias, escolas ou habitações. De forma a assegurar que o módulo se adapte a várias funções, este tem de permitir a remoção de elementos da sua composição. Este conceito é fácil de entender se pensarmos numa sala de aula. A sua dimensão é maior que a utilizada normalmente em quartos. Contudo, se colocarmos vários módulos e removermos as paredes interiores, ficamos com uma divisão bastante grande, podendo ser utilizada para uma sala de aulas ou uma enfermaria, por exemplo.

Este capítulo destina-se a uma análise detalhada da arquitetura bem como à avaliação das normas e exigências que são impostas às construções que usam como elemento estrutural a madeira. No final do capítulo irá ser exposto o comportamento da solução modular criada em termos estruturais, acústicos, térmicos, abastecimento e drenagem de águas, e de segurança ao fogo. Foi escolhido fazer a conceção do módulo com os melhores programas referente a cada especialidade, o que levou ao uso de programas diferentes em distintas etapas da modelação.

4.1. Limitações de Conceção

4.1.1. Normas Restritivas

As construções que utilizam madeira como material estrutural devem cumprir o Eurocódigo 5 (EN 1995-1-1)[34], onde estão detalhadas as exigências que as estruturas de madeira devem cumprir, com vista a assegurar a segurança, o conforto e a durabilidade da construção.

Tal como os restantes Eurocódigos, este contém várias subcategorias como as ações a contemplar bem como coeficientes de acordo com as classes de serviço [34], o

comportamento da madeira ao fogo (EN 1995-1-2)[35] e até mesmo para o dimensionamento de pontes em madeira (EN 1995-2)[36].

De notar que existem mais normas europeias que mencionam o uso da madeira como a EN 408[37] que refere os tipos de ensaio que se podem fazer para determinar as propriedades da madeira ou a EN 350-1 [38] e EN 350-2 [39] que elenca a temática da durabilidade da madeira por espécies e a sustentabilidade da mesma a fungos e térmitas bem como a facilidade de impregnabilidade quer do cerne quer do borne e a EN 460 [40] que refere os tratamentos que se podem aplicar à madeira e aos seus derivados de modo a melhorar a sua durabilidade.

4.1.2. Limitações de Produção

As limitações de produção estão relacionadas com as dimensões dos painéis que as empresas conseguem produzir, uma vez que a produção em série tem dimensões fixas, que rondam os 13 metros por 1,25 metros [41]. Torna-se imprescindível ter em atenção as medidas máximas que podem ser produzidas na fase de pormenorização para que se possam conceber os elementos que irão fazer a união entre as várias peças bem como tentar dimensionar as peças todas do mesmo tamanho de forma a reduzir a mão de obra na produção dos painéis e dos desperdícios de materiais[41].

4.1.3. Restrições de Transporte

Sabendo que o transporte é uma das limitações deste tipo de construção, é essencial ter isso em atenção na conceção do módulo. Desta forma, a melhor configuração para o transporte do módulo é aquela que permita o recurso a camiões tipo, sem aumentar o custo de obra por exigir camiões de maiores dimensões para o transporte dos módulos. Os contentores mais comuns são os designados por 40', ou seja 40 pés, equivalente a 12m de comprimento e 2.35m de largura, com uma altura de cerca de 2.40m.

4.1.4. Restrições de Manobras

Como a construção dos módulos é feita em fábrica existe a necessidade de transportar até à obra os módulos. No entanto, chegados à obra, o camião não pode simplesmente descarregar o módulo. É necessário avaliar o espaço em obra que o camião terá para efetuar possíveis manobras, como descarregar o módulo sem o danificar, no caso de utilizar a grua, avaliar a amplitude da mesma para o transporte dos módulos e se suporta o peso dos módulos, onde serão colocados caso não seja possível a colocação dos mesmos no próprio dia, o cenário de

chuva, entre outros. Apesar de não existir normas quando à organização em obra, estes cuidados são importantes de ser planeados para que não ocorram problemas no momento de chegada dos módulos à obra [41].

4.2. Arquitetura

A arquitetura que será utilizada para a conceção do módulo foi desenvolvida pela aluna do Mestrado Integrado em Arquitetura da Universidade do Minho, Mafalda Fontes, especificamente para esta dissertação. Tratou-se de um processo iterativo uma vez que a arquitetura e a engenharia trabalharam lado a lado na conceção do módulo, discutindo vários aspetos importantes quer a níveis estéticos quer funcionais, resultando num projeto final com características interessantes para ambas as partes. Definimos que seria um módulo que pudesse ser aplicado numa residência universitária, com casa de banho incorporada, tendo de atender às condicionantes envolvidas (Figura 43).

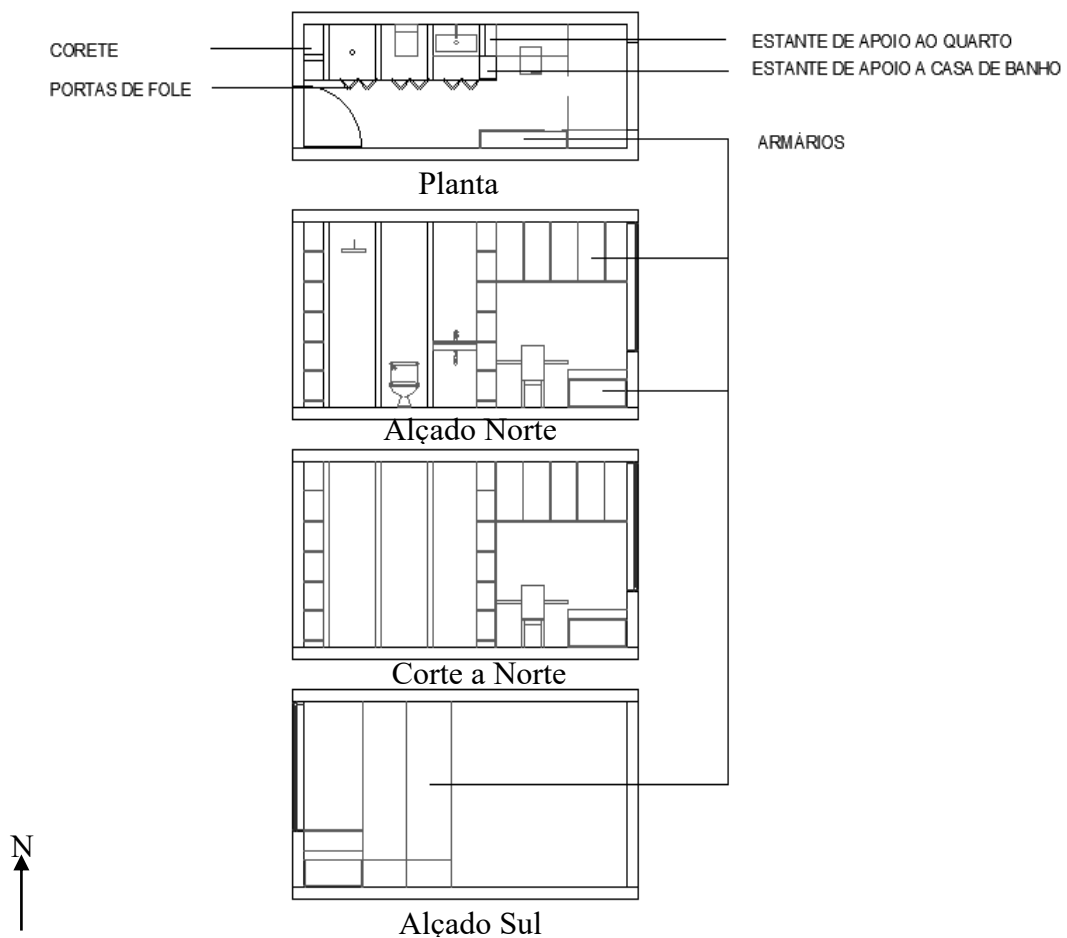


Figura 43 - Arquitetura Módulo

Da arquitetura apresentada acima é possível observar que a casa de banho foi dividida em 3 partes, uma para duche, outra para a sanita e a última para o lavatório. Por ser para uma residência universitária, a arquiteta decidiu colocar uma secretária de modo que o aluno possa estudar do seu quarto. Além da cama, a Mafalda teve em atenção a necessidade de arrumos que o aluno careça e desenhou duas estantes bem como armários em frente e no topo da secretária, bem como na própria cama, aproveitando todos os espaços do módulo.

No desenvolvimento do módulo foi importante discutir a necessidade de aumentar a área útil do quarto para poder ser utilizado por pessoas com mobilidade reduzidas. Para aumentar a área optou-se por acoplar dois módulos uma vez que permite facilidade de montagem e que não cria disparidade na produção dos módulos (Figura 44).

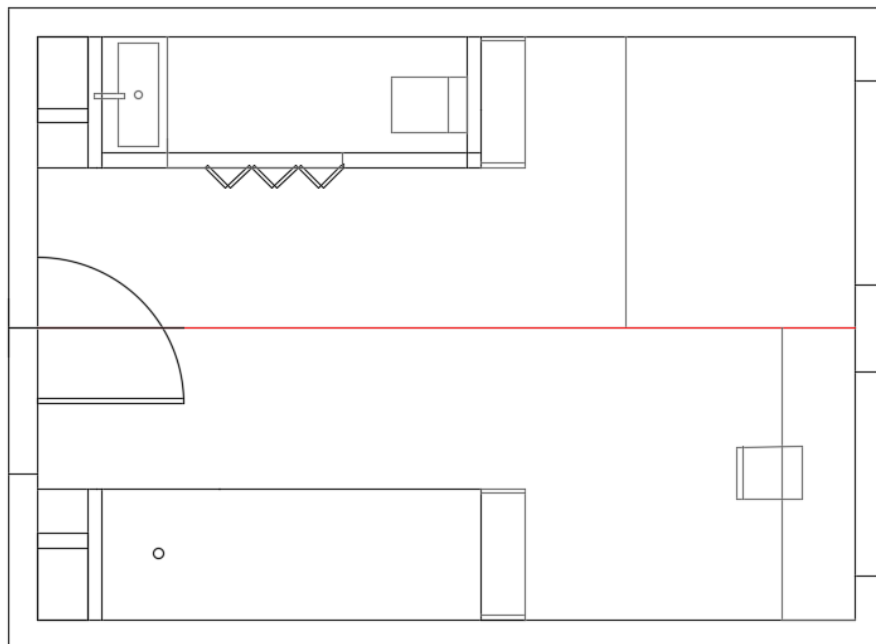


Figura 44 – Planta para a hipótese do módulo de mobilidade reduzida

4.3. Conceção do Módulo

Estabelecida a arquitetura e, considerando as limitações associadas à construção modular, iniciou-se a conceção do módulo. Como todas as construções, existe a necessidade de planejar a obra por etapas e avaliar a capacidade de executar a arquitetura apresentada. Assim sendo, as etapas previstas para a conceção do módulo passam por uma análise estrutural, térmica, acústica bem como a avaliação das infraestruturas de redes decorrentes da casa de banho. Toda esta informação foi transposta para o software de desenho técnico CADWork, específico para a construção de madeira.

Antes de iniciar as modelações, definiu-se que o material estrutural seria o CLT para a materialização das paredes, do piso e da cobertura (teto).

Quanto aos acabamentos, decidiu-se deixar o CLT à vista pelo interior colocando revestimento cerâmico nas paredes da casa de banho. Assim sendo, as paredes no centro da casa de banho ficam com revestimento cerâmico em ambos os lados enquanto as paredes exteriores da casa de banho ficam com uma face revestida a revestimento cerâmico e outra revestida a CLT. A única área que não fica revestida com nenhum destes materiais é o pavimento, que é coberto com tabuado de madeira de carvalho (Figura 45 e 46).



Figura 45 a) - Render do interior do Módulo



Figura 45 b) - Render do interior do Módulo

4.4. Análise Estrutural

4.4.1. Paredes Exteriores

Com a função de suporte do módulo, as paredes exteriores têm de ser capazes de aguentar as cargas do edifício e transmitir os esforços entre os vários elementos, daí ser importante assegurar que as ligações são bem dimensionadas para que os esforços fluam desde o topo do edifício até as fundações.

4.4.2. Paredes Interiores

As paredes interiores dividem a casa de banho da restante área. Tal como referido anteriormente trata-se de paredes com CLT como material de suporte e revestimento com revestimento cerâmico e/ou CLT. No entanto, estas paredes não foram consideradas para o sistema estrutural do módulo, permitindo assim a possibilidade do módulo ser utilizado como componente (lego) numa outra Arquitetura modular.

4.4.3. Pavimento e cobertura

Em termos estruturais, o pavimento e a cobertura do módulo, são similares. São constituídos por CLT e apenas diferem nos acabamentos. O pavimento tem um acabamento em régua de madeira maciça, mais precisamente carvalho, com cerca de 20 mm de espessura. Porém, esta fina camada não será contabilizada para a resistência do piso uma vez que foi inserida com uma função estética e não estrutural. Já a cobertura, não contempla qualquer revestimento ao CLT, ficando este material como revestimento interior.

No dimensionamento destes elementos importa assegurar os estados limite de serviço uma vez que estes elementos são propensos a possuir elevados valores de deformação e de vibração, normalmente, condicionantes no dimensionamento destes elementos estruturais, em detrimento dos estados limite últimos.

4.4.4. Ligações

Quanto às ligações estas têm a principal função de assegurar a transmissão de esforços entre os constituintes do módulo. O software de cálculo pede para selecionar os ligadores metálicos a colocar nas ligações tanto para a transmissão de esforços de corte como de tração. É assim necessário avaliar as tensões instaladas nos elementos metálicos bem como nos parafusos e restantes componentes das ligações.

4.5. Modelação Estrutural no software TimberTech

A modelação estrutural foi feita utilizando o software TimberTech, um programa direcionado para o cálculo estrutural em madeira.

Para a definição da arquitetura é necessário caracterizar a composição dos seus elementos como as paredes, cobertura e pavimento.

Na escolha do CLT a utilizar, é obrigatório selecionar a classe de resistência bem como o número das camadas e as espessuras das mesmas. Das várias classes de resistência de CLT a mais baixa é a classe C16, com 16 MPa de resistência à flexão, podendo atingir os 40MPa. Já nas camadas a norma para o número de camadas que formam o CLT é usualmente 3 camadas ou 5 camadas e consoante a espessura de cada camada, a dimensão do CLT começa com 60 mm e pode atingir os 360 mm. Para a análise, resolveu-se utilizar nas paredes C24 como classe de resistência e com uma espessura de 120 mm a partir de 5 camadas (30-20-20-20-30). Por outro lado, no pavimento e na cobertura utilizou-se glulam homogêneo com 24 MPa de resistência, com uma espessura de 140 mm.

As dimensões dos painéis que constituem o módulo são importantes para o processo de fabricação e montagem do módulo. Visto que este tem cerca de $6,0 \times 2,4 \text{ m}^2$ dividiu-se em painéis de 0,60m, formando 10 ou 4 painéis por face do módulo (Figura 46).

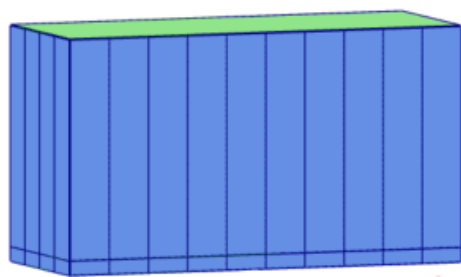


Figura 46 - Primeira Modelação TimberTech

Após uma rápida análise no programa TimberTech, foi possível observar que a modelação de um módulo apenas contém poucas cargas, o que permitia a utilização da classe de resistência mais baixa, bem como uma baixa espessura de CLT. Como o módulo foi planeado para uma aplicação em massa, decidiu-se estipular um edifício de 3 pisos para a análise do módulo (Figura 47).

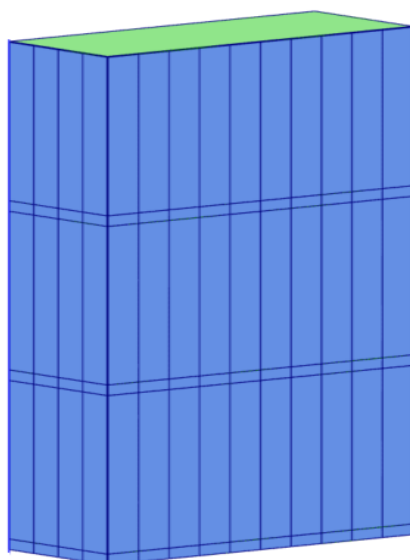


Figura 47 - Segunda Modelação com 3 pisos

Com esta segunda análise já foi possível analisar uma utilização mais expressiva da capacidade resistente das paredes tendo até ultrapassado no caso do teto e do piso aos níveis da deformação e da vibração. Assim, aperfeiçoando o modelo alterou-se a espessura das paredes para 100mm (20-20-20-20-20) e o teto e o piso para CLT 24 MPa e adicionou-se duas vigas de glulam GL26h com uma secção de $180 \times 180 \text{mm}^2$ de modo a limitar os efeitos referidos anteriormente no piso e no teto (Figura 48). Pelo aumento de pisos, as ligações implementadas não resistiram aos esforços foi necessário reforçar as mesmas tendo optado por colocar ligações mais robustas, com mais parafusos bem como diminuir o espaçamento entre as ligações.

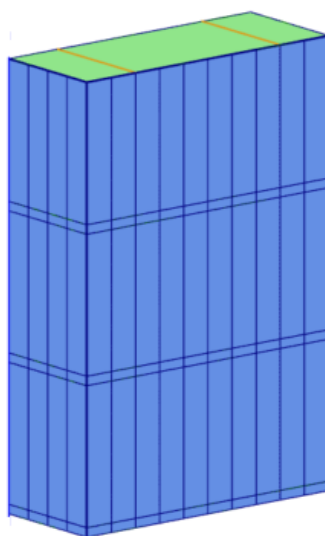


Figura 48 – Terceira Modelação

Afinando mais alguns pontos foi possível alcançar um modelo eficaz que respeita as normas europeias bem como utiliza grande parte da capacidade de utilização dos materiais. Desta forma alcançou-se o módulo com competência de aguentar ser utilizado num edifício com 3 pisos (Figura 49 e 50).

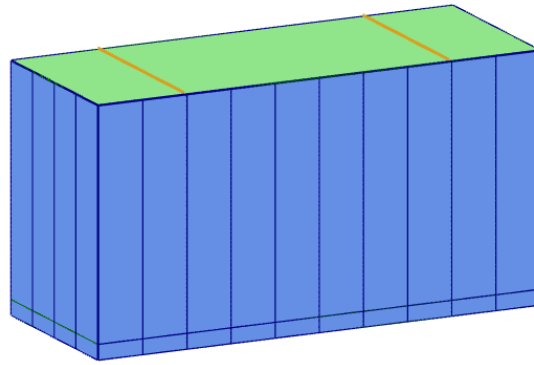


Figura 49 - Vista Painéis do Módulo

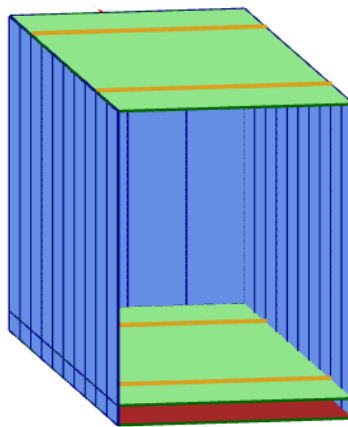


Figura 50 - Vista Interior do Módulo

No entanto, o módulo não é totalmente fechado. Logo falta incorporar as aberturas presentes na arquitetura, neste caso a porta e a janela tal como observado nas seguintes figuras. Assim, com estas alterações, a análise estrutural está concluída, sendo composta por paredes com 100mm de CLT C24 e duas vigas de glulam GL26h com $180 \times 180 \text{mm}^2$, sendo que a cobertura e o pavimento são compostos por CLT com a mesma resistência que as paredes mas com uma espessura de 140mm (Figura 51, 52, 53, 54 e 55).

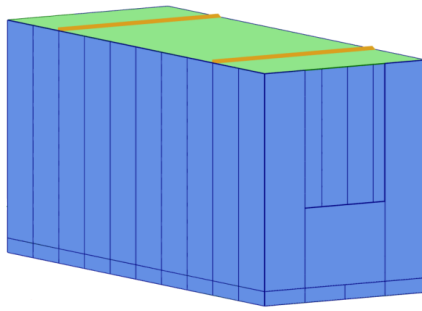


Figura 51 - Módulo aberto janela

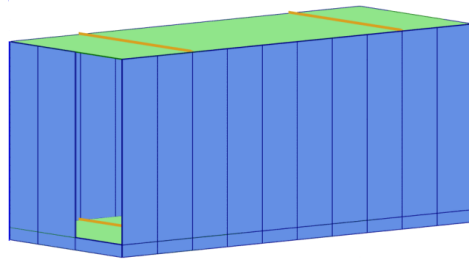


Figura 52 - Módulo aberto porta

- CLT panel (k_{CLT})
- shear connections – angle brackets (k_a)
- hold-down or tie-down (k_h)

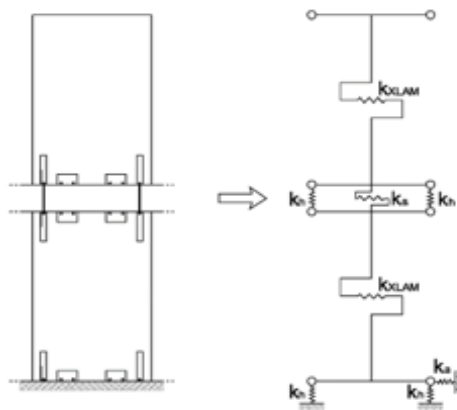


Figura 53- Composição e esquema das paredes.

Angle bracket - Timber to timber connection

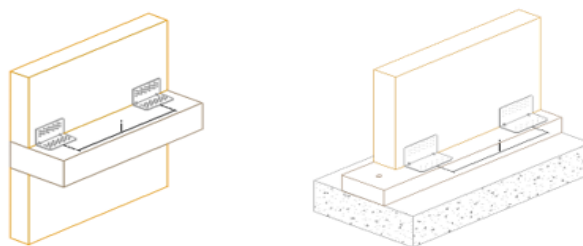


Figura 54 - Ligação de corte

Punched metal plate/Punched strap for tension force

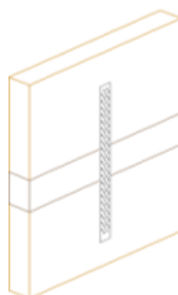


Figura 55- Ligação de tensão

Na Figura 56 apresenta-se a análise estrutural do módulo final com apenas um piso. No entanto, em anexo apresenta-se o relatório do módulo de 3 pisos uma vez que tem resultados mais expressivos da utilização das capacidades do módulo.

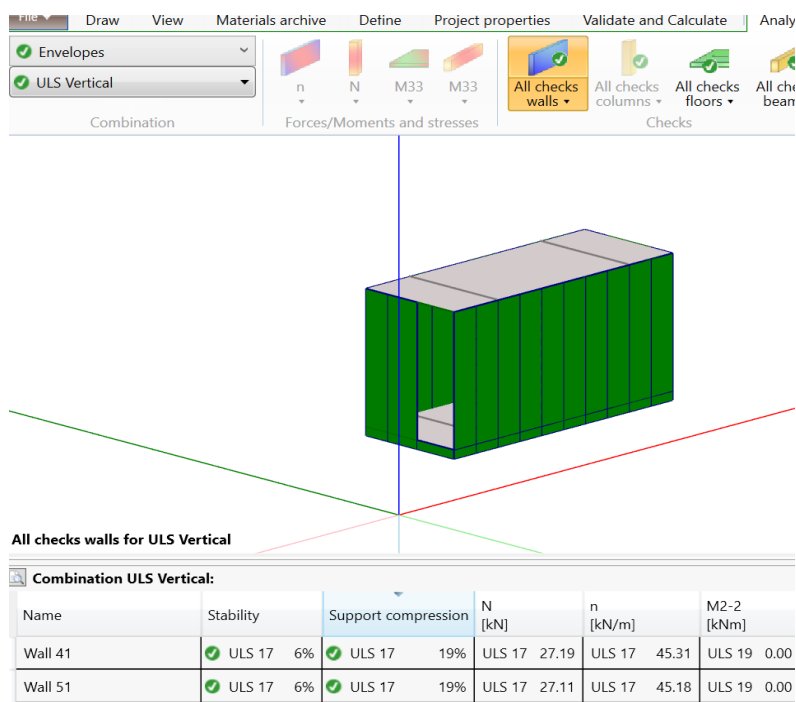


Figura 56 - Resultado Final Análise Estrutural

4.6. Análise ao Fogo

A análise ao fogo é composta por duas alternativas: avaliar a resistência do elemento ao fogo ou avaliar a reação do elemento ao fogo. Com base nos materiais utilizados na análise estrutural, nomeadamente as paredes com CLT 100mm da Stora Enso e o piso e cobertura, ambos em CLT e com uma espessura de 140mm, da Stora Enso, procurou-se a ETA destes materiais. Para estar de acordo com as normas europeias, os materiais necessitam de ter a ETA, European Technical Assessment, um documento que é fornecido pelo fabricante que visa as características essenciais do material. Nesse documento é abordada a resistências e a reação do material ao fogo, características importantes para a avaliação da segurança ao fogo.

4.6.1. Resistência ao fogo para elementos com acabamentos em CLT

A resistência ao fogo avalia o período de tempo que o elemento consegue assegurar as suas características sob fogo, sem comprometer a estrutura. Estes períodos costumam ser de 30, 60 ou 90 minutos, podendo ir mais longe. A norma europeia recai sobre 3 propriedades para a sua classificação:

- R – Capacidade de o elemento manter a sua de carga sem perda estrutural;
- E – Integridade do elemento ao fogo sem permitir a passagem de fogo para outra divisão sob o efeito de chama ou fumo;
- I – Isolamento do elemento ao fogo mantendo o fogo apenas numa face da peça, sem forte transmissão de calor.

Com base na norma EN 13501-2, executou-se a avaliação à resistência ao fogo.

Para as paredes utilizadas no módulo testaram colocando uma carga de 35 kN/m e testaram numa parede de 3 metros de altura, enquanto no piso utilizado colocaram uma carga de 5 kN/m e consideraram uma linha de influência de 5 metros. Ambos os elementos tiveram a mesma classificação: REI 60, o que significa que tanto as paredes como o piso conseguem manter as suas cargas, integridade e capacidade de isolamento durante 60 minutos sob fogo (Figura 57 e 58).

Wall structures

Cladding on the fire exposed side	Mounting	CLT element	Test load	Tested wall height	Classification
		Designation and structure [mm]	[kN/m]	[m]	i => o
-	-	CLT 100 C3s 30-40-30	35	3	REI 60

Figura 57- Resistência ao fogo das paredes com acabamento em CLT [47]

Floor structures

Cladding on the fire exposed side	Mounting	CLT element	Test load	Tested span	Classification
		Designation and structure [mm]	[kN/m ²]	[m]	b => a
-	-	CLT 140 C5s 40-20-20-20-40	5	5	REI 60

Figura 58 - Resistência ao fogo do teto em acabamento em CLT [47]

4.6.2. Reação ao fogo de elementos com acabamento em CLT

Os testes de reação ao fogo são feitos para descobrir a contribuição dos materiais para o aumento do fogo. A norma europeia classifica da seguinte forma:

- A1/A2: materiais não combustíveis;
- B: Materiais combustíveis com contribuição para o fogo muito limitada;
- C: Materiais combustíveis com contribuição para o fogo limitada;
- D: Materiais combustíveis com contribuição para o fogo média;
- E: Materiais combustíveis com contribuição para o fogo alta;
- F: Materiais combustíveis que são facilmente inflamáveis.

Além da capacidade inflamável, é possível classificar segundo a emissão de fumo e de gotículas pelo fogo como:

- s1- Velocidade de emissão de fumos ausente ou fraca, por m²/seg²;
- s2- Velocidade de emissão de fumos de intensidade média, por m²/seg²;
- s3- Velocidade de emissão de fumos de alta intensidade, por m²/seg²;
- d0- Sem gotejamento;
- d1- Gotejamento lento;
- d2- Gotejamento alto.

O resultado à reação do CLT foi D-s2, d0, o que significa que o material é combustível com contribuição média para o fogo, com uma velocidade de emissões de fumos média e sem gotejamento (Figura 59).

2	Safety in case of fire		
	<u>Reaction to fire</u>		
	Glued laminated timber products	Commission Decision 2005/610/EC	Mean density of wood $\geq 380 \text{ kg/m}^3$ Euroclass D-s2, d0

Figura 59 - Reação ao fogo do CLT [47]

4.6.3. Taxa de Carbonização

A taxa de carbonização trata-se da velocidade a madeira é consumida. No caso das paredes de CLT, o valor é de 0.63mm/min (Figura 61), enquanto nos pisos, o valor é de 0.65mm/min (Figura 60).

Charring rate		Floor/Roof	Wall
- Charring of the cover layer	EAD 130005-00-0304	0.65 mm/min	0.63 mm/min
- Charring of more layers than the cover layer		1.3 mm/min ⁶⁾	0.86 mm/min

Figura 60 - Taxa de Carbonização de elemento em CLT [47]

4.6.4. Análise ao fogo de elementos com acabamentos em Madeira de Carvalho

Uma vez que o piso é revestido com soalho de madeira de carvalho, torna-se necessário avaliar as suas capacidades contra o fogo. É imprescindível encontrar a ETA para um soalho de carvalho e o escolhido foi Perlinato Strutturale, da Consorzio Servizi Legno-Sughero.

O soalho de carvalho tem o mesmo comportamento que o CLT, tendo sido caracterizado por ser um material combustível com contribuição média para o fogo, com uma velocidade de emissões de fumos média e sem gotejamento (Figura 61).

2	Reaction to fire		
	Solid wood boards for flatwise structural use with overlapping edge profiles of Spruce, Fir, Larch, Douglas Fir and Pine	Commission Decision 2003/43/EC, as amended	D-s2, d0
	Resistance to Fire		
	Charring rate	EN 1995-1-2	

Figura 61 - Reação ao fogo da madeira de carvalho [48]

Quanto ao ritmo de carbonização foi necessário consultar o Eurocódigo 5 apresentado na Figura anterior, o EN 1995-1-2, referente ao fogo. Nesse documento é possível analisar a taxa de carbonização em função do tipo de madeira. A madeira de Carvalho é caracterizada por ser uma madeira rija e com uma densidade superior a 450 kg/m^3 , o que aponta para um ritmo de carbonização de 0.50 mm/min (Figura 62).

	β_0 mm/min	β_n mm/min
a) Softwood and beech Glued laminated timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ Solid timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65 0,65	0,7 0,8
b) Hardwood Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,65 0,50	0,7 0,55
c) LVL with a characteristic density of $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
d) Panels Wood panelling Plywood Wood-based panels other than plywood	0,9 ^a 1,0 ^a 0,9 ^a	— — —
^a The values apply to a characteristic density of 450 kg/m^3 and a panel thickness of 20 mm; see 3.4.2(9) for other thicknesses and densities.		

Figura 62 - Taxa de carbonização de soalho de carvalho. Retirado do EN 1995-1-2

4.6.5. Análise ao fogo de elementos com acabamentos em Revestimento cerâmico

O revestimento cerâmico escolhido é encontrado no Leroy Merlin e é caracterizado por ser um revestimento cerâmico com o efeito de cimento com o aspeto representado ao lado (Figura 63).



Figura 63 - Aplicação do revestimento de cerâmica de cimento [49]

No site apresentam um documento com a característica do produto, nomeadamente a sua reação ao fogo. Como seria de esperar, este material foi classificado com A1, o que implica que é um material incombustível, não contribuindo para o aumento da propagação do fogo(Figura 64).

6.- Declared Performances:

Essential characteristics	Performance	Harmonised technical specification
Reaction to Fire	Class A1	EN 14411:2012
Release of dangerous substance for: - Cadmium - Lead	PND PND	
Breaking Strength	> 600 N	
Slipperiness PTV (wet), slider 57, CEN/TS 16165:2012	PND	
Tactility	PND	
Bond strength/adhesión fro Cementitious adhesive type C1	> 0,5 N/mm2	
Thermal shock resistance	PND	
Durability for: - Internal use - External use	Pass PND	

Figura 64 - Reação ao fogo do revestimento cerâmico de cimento[49]

4.6.6. Análise ao fogo das Vigas

Por fim falta analisar o comportamento das vigas sob fogo. As vigas são constituídas por glulam de abeto, com dimensões de 180x180 mm² e pertencendo à classe GL24h. A empresa binderholz tem uma vasta gama de vigas de abeto que foram testadas ao fogo. A sua reação ao

fogo foi D-s2, d0, o que nos indica que as vigas irão ter a mesma reação ao fogo que os elementos com acabamentos em CLT e em madeira de carvalho. Quanto à taxa de carbonização, estes afirmam que ronda os 0.7mm/min (Figura 65).

	GL 24	GL 28	GL 30	GL 32*
Assembly	combined (c) / homogeneous (h)			
Wood Species	spruce			
Manufacture	in accordance with EN 14080			
Moisture content	9 - 14 %			
Mechanical grading	in accordance with EN 14081-3			
Lamella thickness	40 mm			
Gluing	modified melamine resin, light, non-darkening joints			
Surface quality	planed on 4 sides, chamfered edges, visible quality, non-visible quality			
Packaging	in packets, can be individually wrapped on request			
External monitoring	Holzforschung Austria			
Calculatory combustion behavior	0,7 mm / min			
Emission category	< E1 according to EN 14080, test reports on request			
Fire behavior	D-s2, d0			

Figura 65 - Análise ao fogo GL 24 [50]

4.7. Análise Térmica utilizando o software Ubakus

O programa Ubakus é um software destinado ao cálculo térmico de edifícios. Permite também a análise da humidade, da temperatura bem como as perdas de energia, sendo um programa completo. Naturalmente o primeiro passo nesta modelação é inserir o resultado da análise estrutural, isto é, colocar o material estrutural bem como o revestimento e a proteção contra o fogo de cada elemento.

No entanto a espessura das camadas vai alterando consoante o elemento que está a ser avaliado assim como a necessidade de telas que controlem fatores como o vapor ou a transpiração.

O produto final foi obtido por processo de tentativa erro, alterando as espessuras e as telas utilizadas, tentando sempre obter o melhor resultado com uma relação custo-benefício justo.

4.7.1. Cobertura

No caso da cobertura, optou-se por deixar os acabamentos em CLT, o que implica que tanto a camada interior como a camada exterior sejam compostas por esse material. É claro que a cobertura necessita de isolamento térmico, que combata as diferenças de temperatura que se fazem sentir entre o interior e o exterior de qualquer habitação.

Na ótica da construção sustentável optou-se por utilizar a cortiça como material isolante dado as suas competências ao nível térmico e acústico bem como a sua capacidade de retirar dióxido de carbono da atmosfera durante o seu tempo de vida, o que abona a favor da diminuição de CO₂ na atmosfera durante os 50 anos de vida para os quais as obras são normalmente projetadas. Além da cortiça, criou-se uma caixa de ar, com 50mm, de modo a reforçar o isolamento da cobertura e uma diminuição da espessura da cobertura, tornando uma solução mais económica comparada a uma solução sem caixas de ar. Foi necessária uma tela com o objetivo de bloquear a passagem de vapor para o interior do módulo, tendo sido escolhida a Barrier Net Adhesive 200 da Rothoblass. Assim, obtém-se uma composição como a abaixo ilustrada (Figura 66).

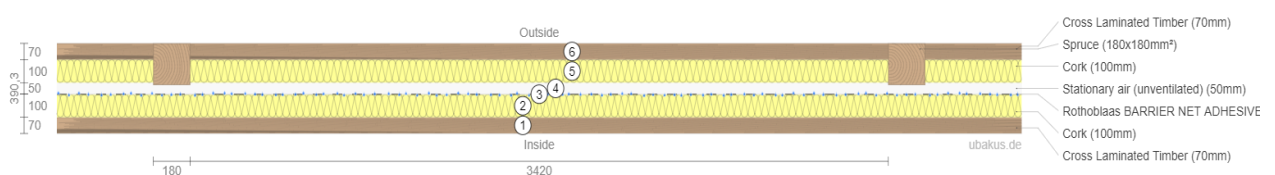


Figura 66 - Composição Cobertura

1. CLT (70mm)
2. Cortiça (100mm)
3. Tela Rothoblaas (0,3mm)
4. Caixa de ar (50mm)
5. Cortiça (100mm) + viga
180x180mm²
6. CLT (70mm)

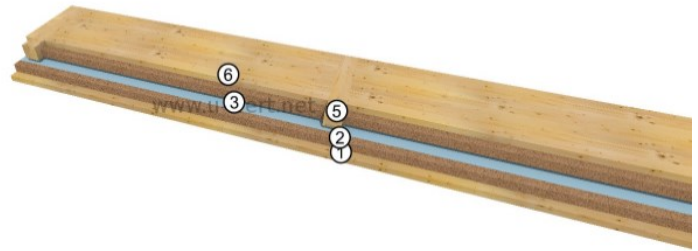


Figura 67- Cobertura 3D

4.7.2. Piso

Da cobertura para o piso pouco difere, uma vez que os seus requisitos são similares. Como discutido anteriormente, o acabamento do piso é em madeira de Carvalho, sendo neste ponto incluído essa camada para a análise, com uma espessura de 20mm, concluindo com a seguinte configuração (Figura 68).

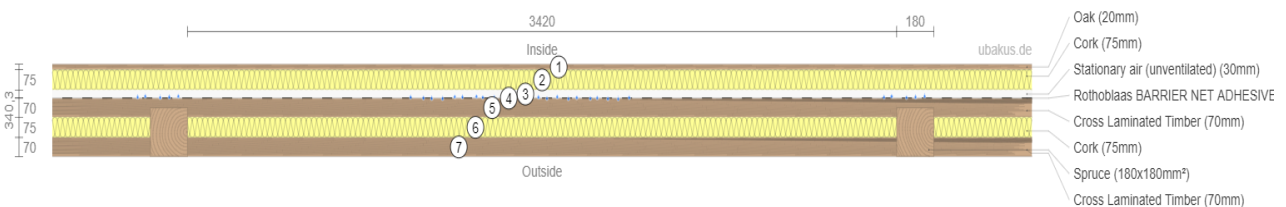


Figura 68 - Composição Piso

1. Carvalho (20mm)
2. Cortiça (75mm)
3. Tela Rothoblaas (0,3mm)
4. Caixa de ar (30mm)
5. CLT (70mm)
6. Cortiça (75mm) + viga
180x180mm²
7. CLT (70mm)

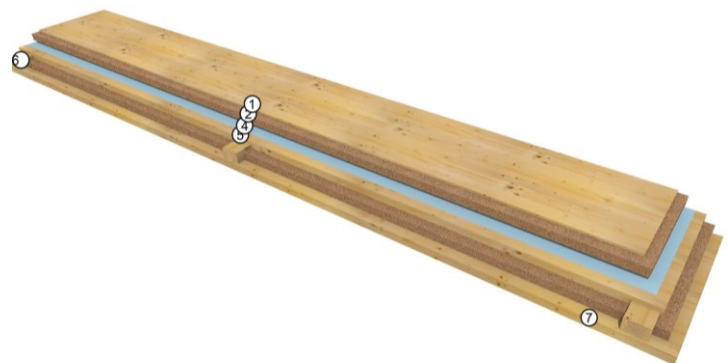


Figura 69 - Piso 3D

4.7.3. Paredes Exteriores

As paredes exteriores seguiram a base dos elementos calculados anteriormente. Foi possível diminuir as espessuras do CLT e da cortiça nas paredes, concluindo com uma configuração semelhante ao piso, com a diferença no acabamento (Figura 70).

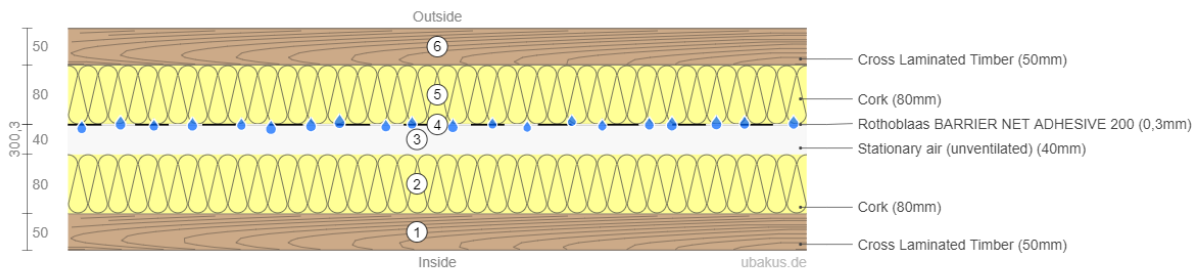


Figura 70 – Composição Paredes Exteriores

1. CLT (50mm)
2. Cortiça (80mm)
3. Caixa de Ar (40mm)
4. Tela Rothoblaas
5. Cortiça (80mm)
6. CLT (50mm)

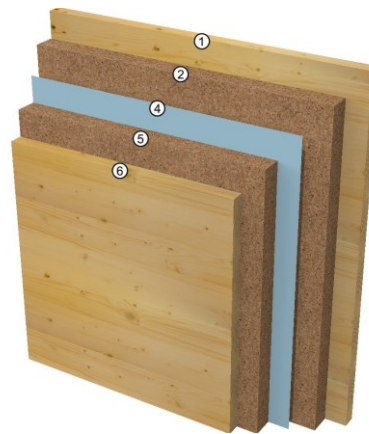


Figura 71 - Paredes Exteriores 3D

4.7.4. Parede Casa de Banho

Estas paredes são caracterizadas por terem uma face em cerâmica e outra em CLT, uma vez que ou fazem parte das paredes exteriores que fazem com a casa de banho ou porque são

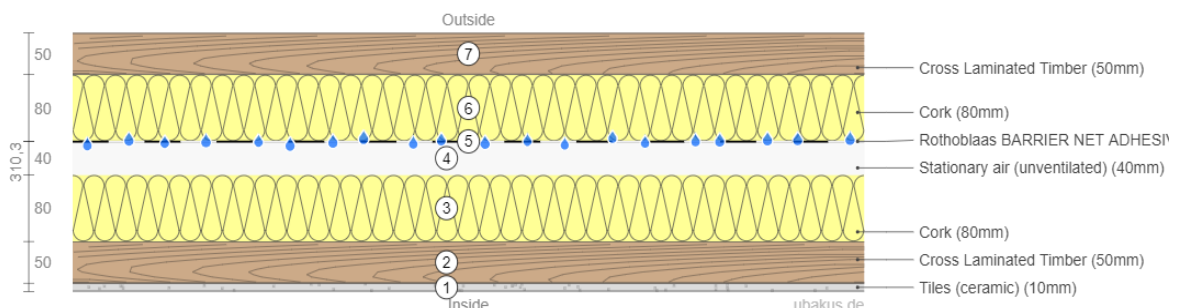


Figura 72 - Composição Paredes Casa de Banho

paredes que dividem o espaço da casa de banho com as demais áreas (Figura 72).

1. Cerâmica (10mm)
2. CLT (50mm)
3. Cortiça (80mm)
4. Caixa de ar (40mm)
5. Tela Rothoblaas
6. Cortiça (80mm)
7. CLT (50mm)

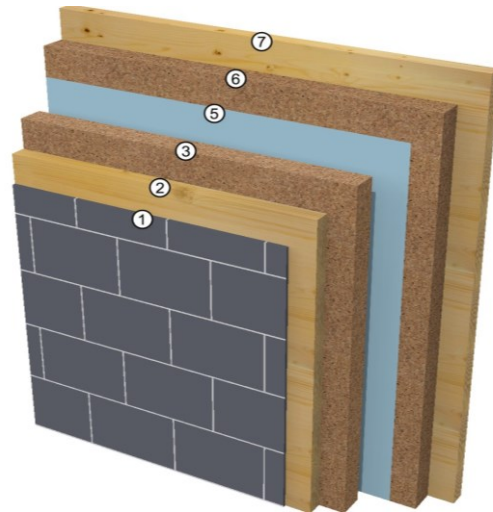


Figura 73- Paredes Casa de Banho 3D

4.7.5. Parede Divisória Casa de Banho

As paredes que dividem os vários compartimentos da casa de banho são obrigatoriamente revestidas de ambos os lados com cerâmica, sendo a diferença entre a parede antecedente e esta os acabamentos e uma ligeira redução da espessura da Cortiça.

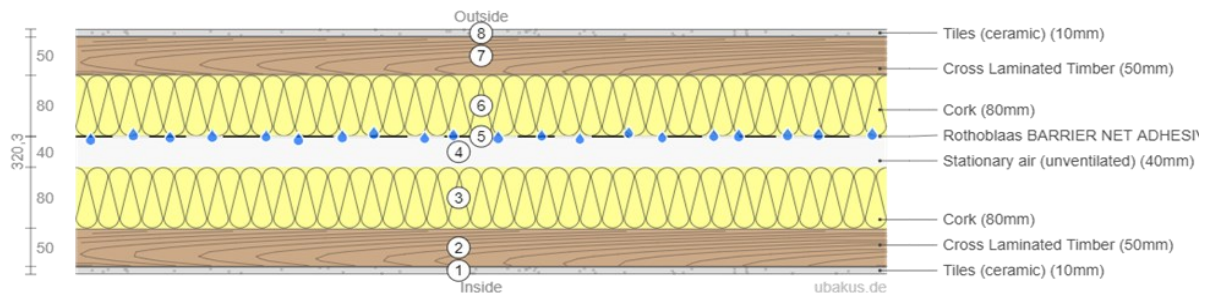


Figura 74 - Parede divisória casa de banho Composição

1. Cerâmica(10mm)
2. CLT (50mm)
3. Cortiça (80mm)
4. Caixa de ar (40mm)
5. Tela Rothoblaas
6. Cortiça (80mm)
7. CLT (50mm)
8. Cerâmica (10mm)

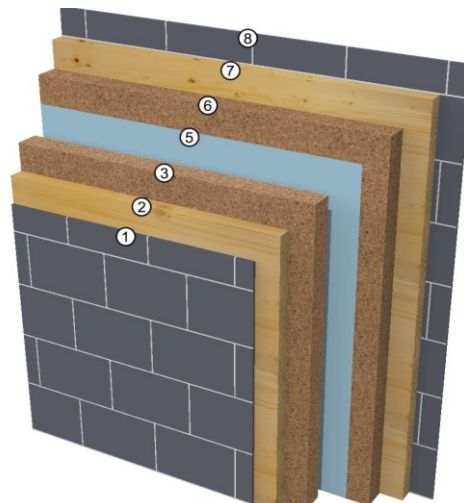


Figura 75 - Parede Divisória 3D

4.7.6. Análise Térmica com Recurso a EPS

Utilizando EPS como isolamento é uma solução importante a avaliar, uma vez que é um dos materiais mais aplicados como isolante. EPS, abreviatura de Poliestireno Expandido, trata-se de um plástico celular rígido que pode ser aplicado em vários contextos tais como em caixas de ar, nas fachadas aplicado pelo exterior, os ETICS, nos pisos, entre outras aplicações. Entre as principais vantagens destaca-se o seu desempenho térmico, a sua eficiência energética, facilidade em aplicação e o facto de ser 100% reciclável [42].

Trocando a cortiça pelo EPS mas mantendo a mesma espessura, o resultado obtido para a cobertura apontou uma falha em respeitar a norma DIN 68800-2, responsável por assegurar que a superfície seca a um ritmo mínimo, certificando que a água não se mantém no telhado durante muito tempo, para prevenir a infiltração da mesma (Figura 76).

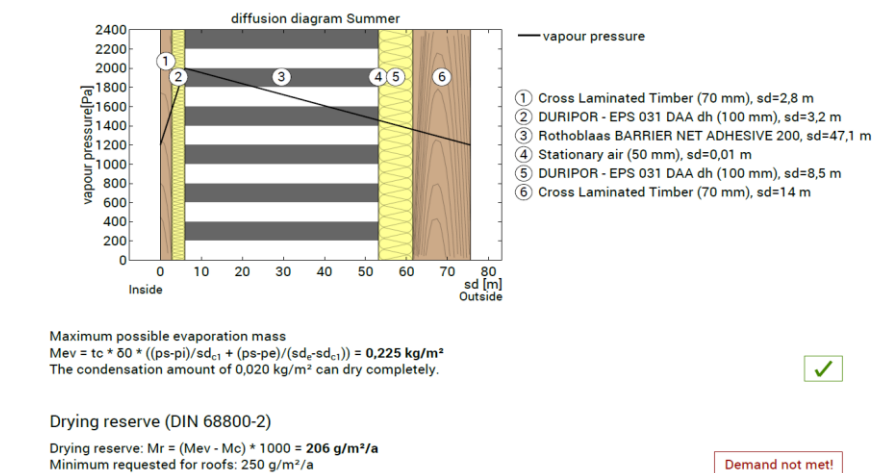


Figura 76 - Primeiro resultado cobertura com EPS

Mesmo ajustando a espessura do EPS, o problema reduziu mas não foi suficiente para passar neste requerimento (Figura 77).

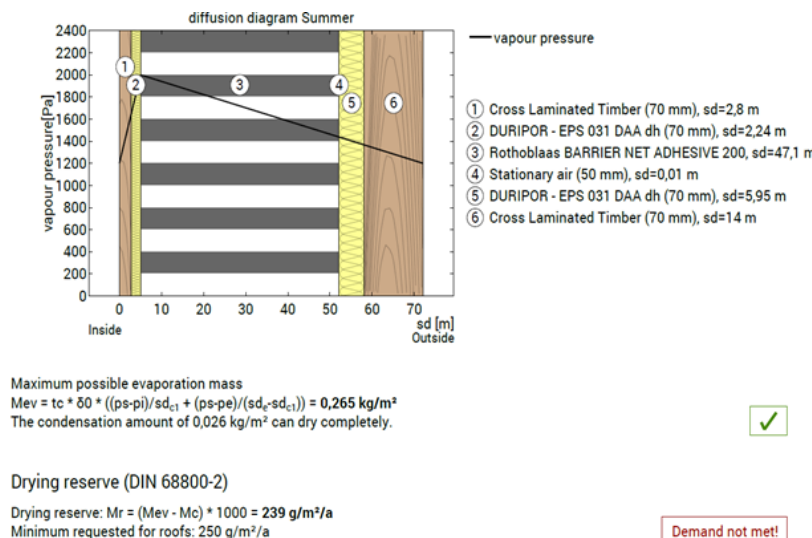
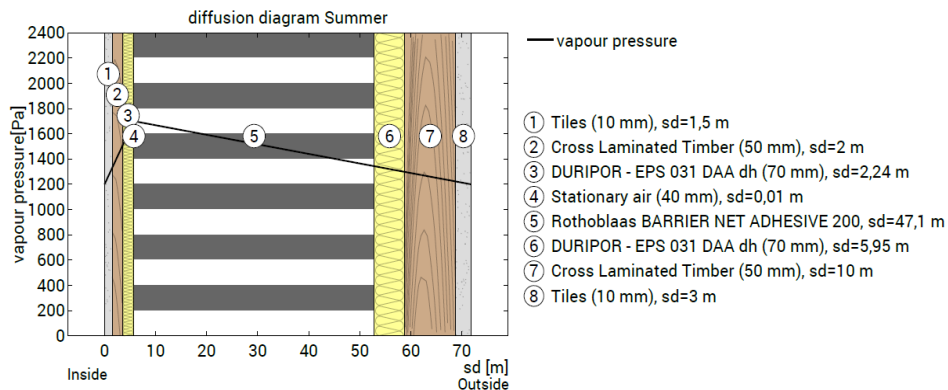


Figura 77- Resultado da Análise da Cobertura com EPS

Nos restantes elementos como as paredes, este problema não aconteceu, sendo viável a sua aplicação nestes elementos.



Maximum possible evaporation mass
 $M_{ev} = t_c \cdot \delta_0 \cdot ((p_s - p_i) / s_{d,c1} + (p_s - p_e) / (s_{d,e} - s_{d,c1})) = 0,147 \text{ kg/m}^2$
 The condensation amount of 0,036 kg/m² can dry completely.

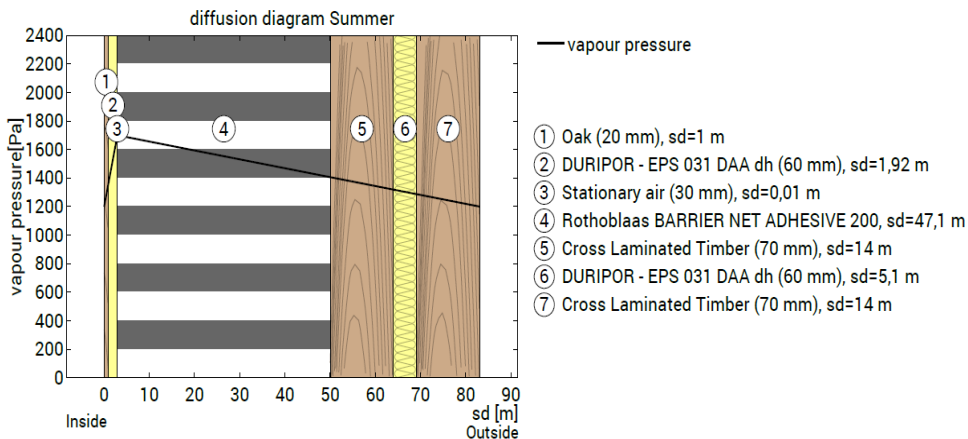


Drying reserve (DIN 68800-2)

Drying reserve: $M_r = (M_{ev} - M_c) \cdot 1000 = 111 \text{ g/m}^2/\text{a}$
 Minimum requested for walls and ceilings: 100 g/m²/a



Figura 78 - Utilização de EPS nas paredes entre casa de banho



Maximum possible evaporation mass
 $M_{ev} = t_c \cdot \delta_0 \cdot ((p_s - p_i) / s_{d,c1} + (p_s - p_e) / (s_{d,e} - s_{d,c1})) = 0,275 \text{ kg/m}^2$
 The condensation amount of 0,004 kg/m² can dry completely.

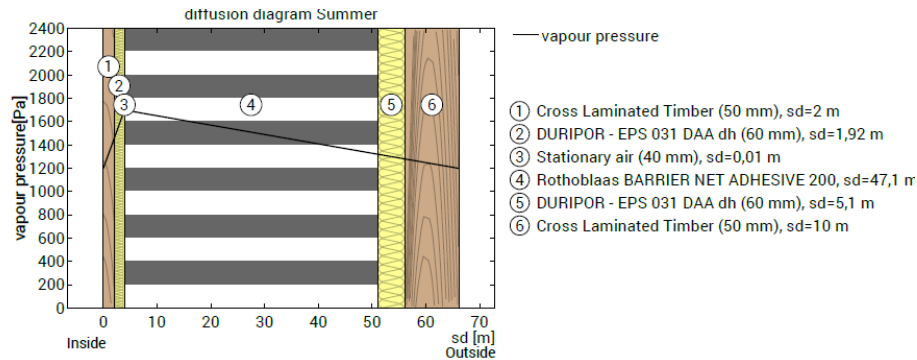


Drying reserve (DIN 68800-2)

Drying reserve: $M_r = (M_{ev} - M_c) \cdot 1000 = 271 \text{ g/m}^2/\text{a}$
 Minimum requested for walls and ceilings: 100 g/m²/a



Figura 79 - Utilização de EPS no piso



Maximum possible evaporation mass
 $M_{ev} = t_c * \delta_0 * ((p_s - p_i) / s_{d_{e1}} + (p_s - p_e) / (s_{d_e} - s_{d_{e1}})) = 0,210 \text{ kg/m}^2/\text{a}$
 The condensation amount of 0,062 kg/m² can dry completely.

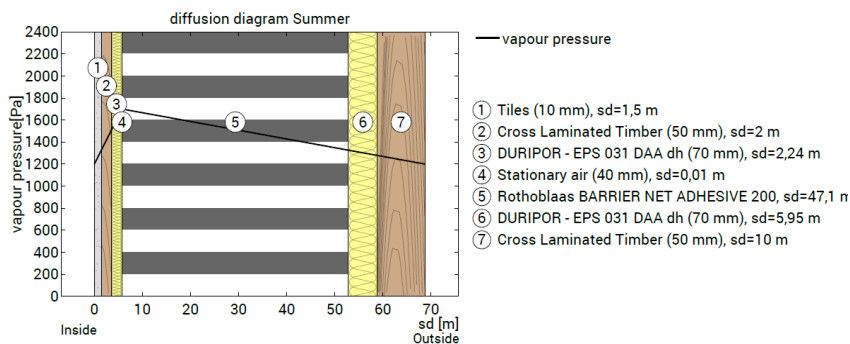


Drying reserve (DIN 68800-2)

Drying reserve: $M_r = (M_{ev} - M_c) * 1000 = 149 \text{ g/m}^2/\text{a}$
 Minimum requested for walls and ceilings: 100 g/m²/a



Figura 80 - Utilização EPS nas Paredes Exteriores



Maximum possible evaporation mass
 $M_{ev} = t_c * \delta_0 * ((p_s - p_i) / s_{d_{e1}} + (p_s - p_e) / (s_{d_e} - s_{d_{e1}})) = 0,148 \text{ kg/m}^2/\text{a}$
 The condensation amount of 0,035 kg/m² can dry completely.



Drying reserve (DIN 68800-2)

Drying reserve: $M_r = (M_{ev} - M_c) * 1000 = 112 \text{ g/m}^2/\text{a}$
 Minimum requested for walls and ceilings: 100 g/m²/a



Figura 81 - Utilização EPS nas paredes da casa de banho

Com a utilização de EPS, a espessura da parede diminui, o que oferece uma maior área útil e um menor gasto de material. No entanto manteve-se a opção da cortiça uma vez que esta consegue ser um isolante tanto térmico como acústico, prevendo uma maior área útil quando completa a análise acústica do que com a solução em EPS. Além disso, a cortiça tem a possibilidade de sequestrar carbono pela sua natureza, característica que o EPS não possui.

4.8. Análise à Humidade

O software Ubakus consegue fazer uma estimativa à humidade presente no módulo e como os níveis da mesma oscilam ao longo das camadas. O programa avalia o nível de condensação a que cada componente está exposto de forma a determinar a variação da condensação entre camadas. Assumindo umas condições internas de 20° e de 50% de humidade e de -5° com 80% de humidade no exterior, o comportamento dos vários elementos presentes no módulo indicam uma condensação a afetar a camada da tela Rothoblaas Net Adhesive 200, um resultado expectável visto que a tela não tem permeabilidade ao vapor, concentrando o mesmo junto a si. Nessa camada atinge-se o ponto de saturação, onde a humidade relativa atinge o seu valor máximo, de 100%, sendo que nas camadas seguintes essa variável vai reduzindo para o valor estipulado de 50%. Além do estudo da humidade, não é previsto o aparecimento de mofo nestas circunstâncias.

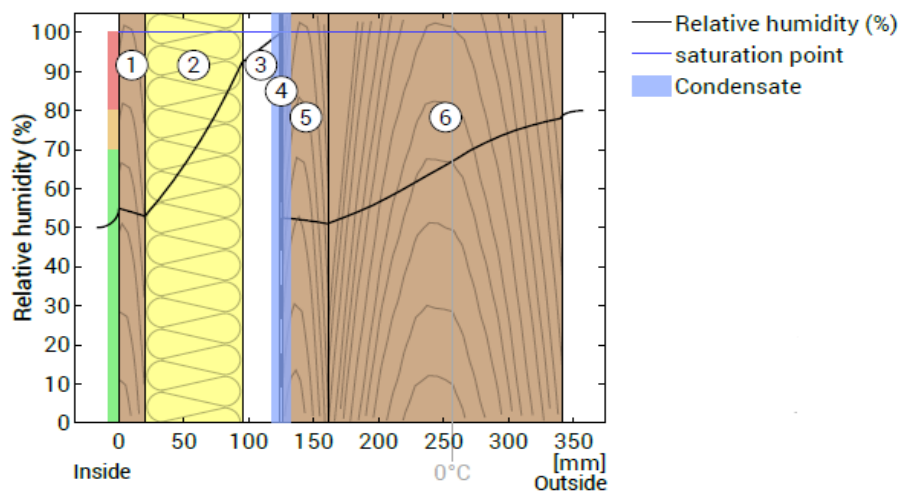


Figura 80 - Análise Humidade Piso

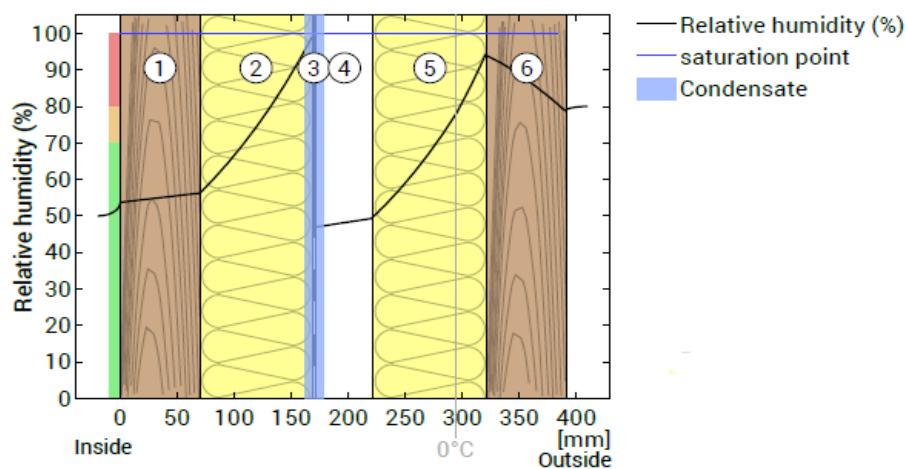


Figura 81 - Análise Humidade Cobertura

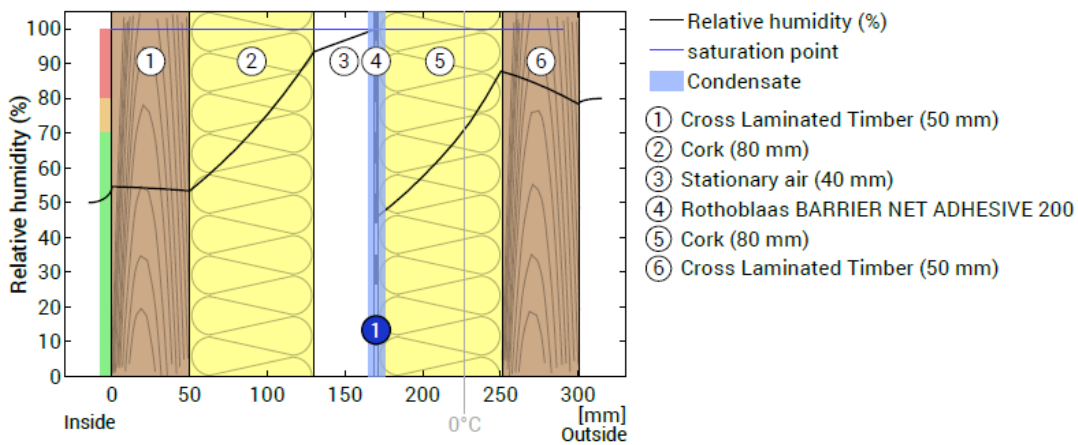


Figura 82 - Análise Humidade Paredes Exteriores

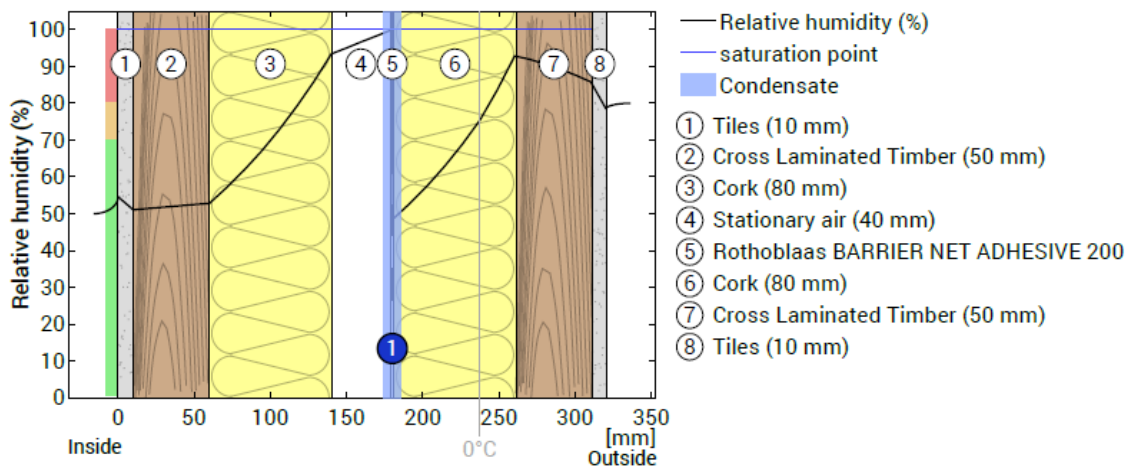


Figura 83- Análise Humidade Paredes entre Casa de Banho

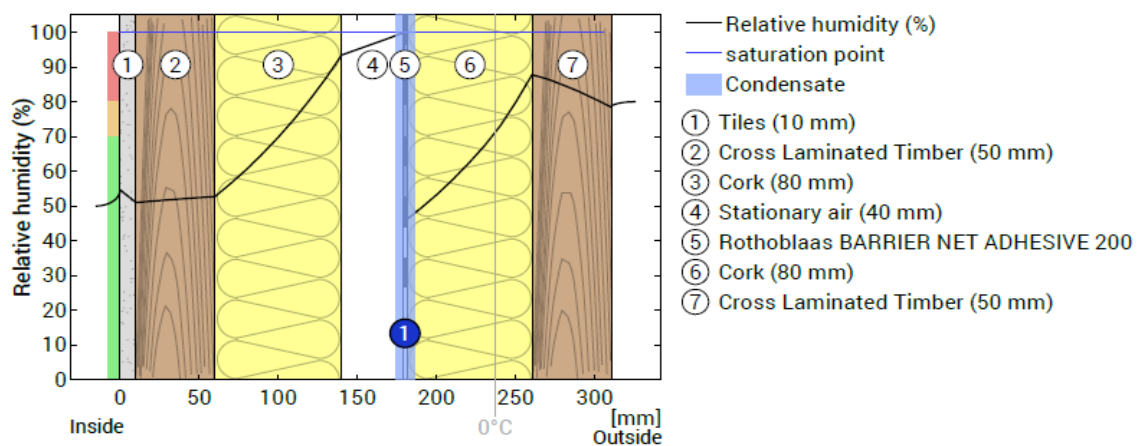


Figura 84 - Análise Humidade Paredes Chuveiro

4.9. Análise Sustentável

A análise sustentável é dada pelo Ubakus e foca-se no ângulo da sustentabilidade e no potencial verde da obra. Analisa as perdas de calor, a energia fóssil utilizada na produção dos materiais que incorporam o edifício e consegue fazer uma estimativa da contribuição para o aquecimento global durante o tempo de vida para o qual o edifício foi projetado.

Para esta análise será observado o piso do módulo.

Este elemento sofre uma perda de calor por metro quadrado de 13kW durante o período de aquecimento, teve um gasto de energia não renovável para a produção dos materiais constituintes do piso de 96kWh/m², um valor relativamente baixo devido aos componentes adotados. Além do reduzido gasto energético, na produção destes materiais retirou-se mais gases da atmosfera do que os que se formou, originando um potencial de aquecimento global de -153kg CO₂Äqv./m², o que significa que é retirado 153kg de dióxido de carbono da atmosfera por cada metro quadrado de piso, uma qualidade da utilização de madeira e os seus derivados na construção.

Consoante a maquinação do componente, maior é a energia associada para a sua produção. Assim é logico que para atingir a cortiça ou a madeira lamelada colada existe um processo mais longo e mais trabalhado do que para obter vigas de madeira maciça ou madeira para soalho/tabuado. Daí no gráfico de setores a cortiça e a madeira lamelada colada tenham uma maior percentagem do que a madeira maciça (Figura 88).

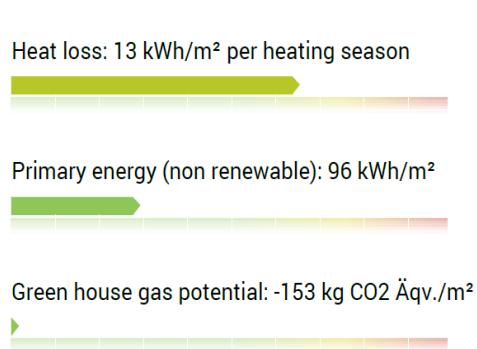


Figura 85 - Potencial de aquecimento global do piso

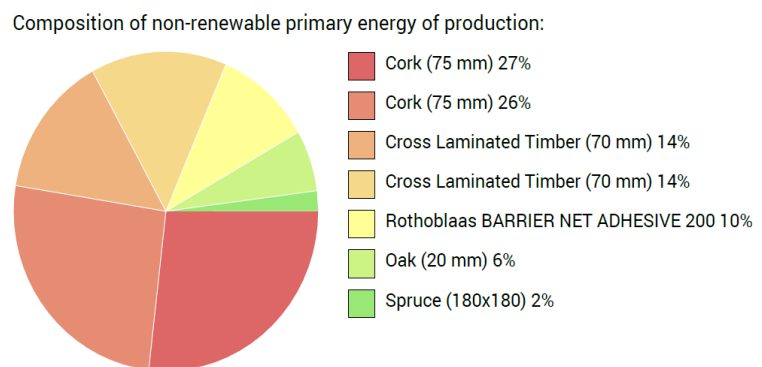


Figura 86 - Gasto de energia não renovável para a construção do piso

A Figura 89 demonstra uma estimativa a longo prazo da emissão de gases estufa, onde é possível analisar que a linha vertical representa os gases retirados aquando da produção dos materiais constituintes do piso. À medida que os anos passam, a emissão de gases vai aumentando principalmente devido ao aquecimento do edifício. Quanto mais tempo o componente se mantiver inalterado, mais ecológico o mesmo é, uma vez que é devido ao custo de produção dos materiais serem baixos em termos do PAG, as emissões de gases totais continuam negativas durante décadas.

Já na Figura 90 é possível observar os gastos de energia estimados para o tempo de vida da obra. Como para a produção dos constituintes do piso estão associados 96kWh/m² de energia fósil, o valor vai tendencialmente aumentar devido à energia primária necessária ao aquecimento do edifício, um aumento que seria mais exponencial caso os materiais utilizados para a composição do piso necessitassem de mais energias não renováveis para a sua produção.

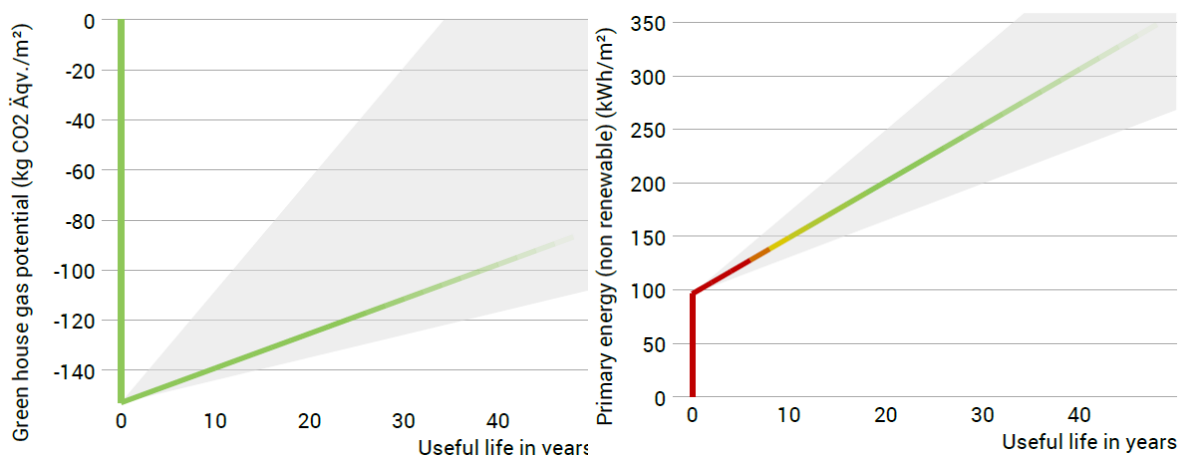


Figura 87 - Potencial de Aquecimento Global a longo prazo do piso Figura 88 - Gasto de Energia Fósil a longo prazo do piso

Os restantes constituintes do módulo têm semelhantes análises à anterior feita exceto as paredes entre as casas de banho que, por serem constituídas por cerâmica em ambas as faces, origina uma perda de calor na ordem dos 18kWh/m² bem como uma utilização de energia não renovável de 218 kWh/m² e com apenas 74 kg CO2 Äqv./m² de PAG, sendo assim o elemento menos ecológico do módulo. Os restantes detalhes das análises encontram-se em anexo.

4.10. Análise Acústica

A primeira etapa para o início desta análise foi definir o tipo de edifício como residencial. Depois definiu-se que o regulamento pelo qual a análise acústica se iria guiar, seria o regulamento RRAE: DL n°96/2008, o regulamento português aprovado para o cálculo acústico.

Para a análise acústica é essencial colocar as diversas camadas presentes nos elementos obtidos pela análise térmica com as suas determinadas características, nomeadamente a espessura da camada, a sua massa volúmica aparente, a sua resistência térmica, calor específico e fator de resistência à difusão do vapor de água, como representado no exemplo à direita. Após a caracterização de cada camada constituinte dos elementos obtém-se uma configuração de aspeto semelhante à obtida na análise térmica (Figura 92).

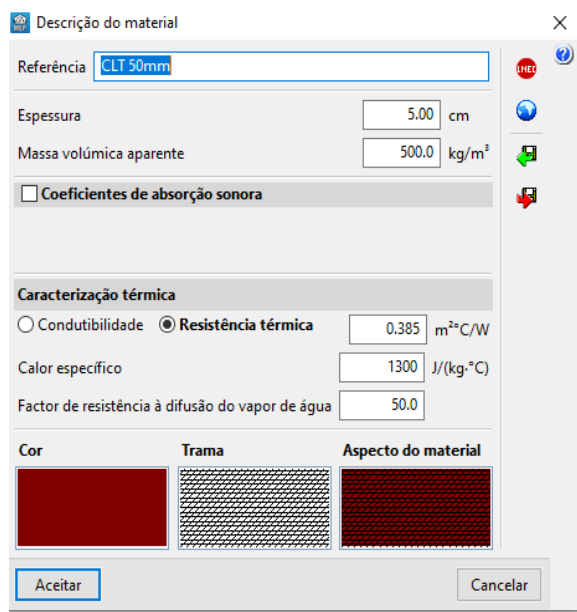


Figura 89 - Exemplo composição das camadas para a análise acústica

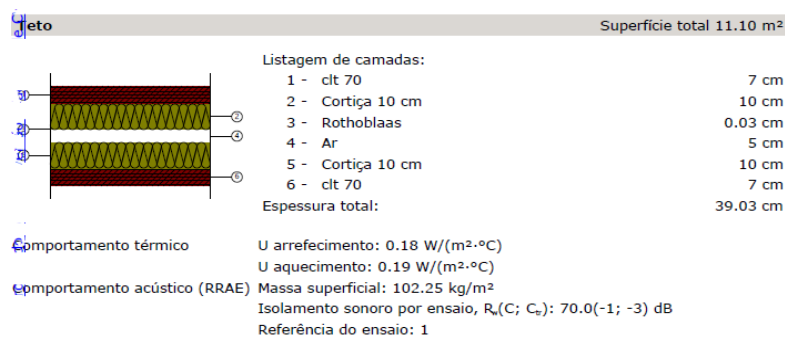


Figura 90 - Exemplo composição teto análise acústica

De seguida foi necessário fazer a disposição do módulo incluindo as divisões internas como estão definidas na arquitetura e definir os vários compartimentos que existem no seu interior (Figura 93).

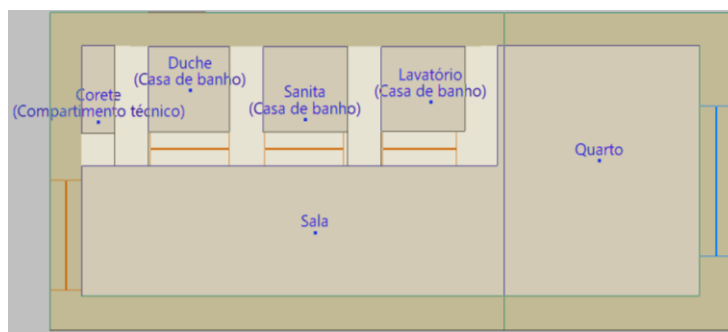


Figura 91 - Compartimentos Módulo

Com os elementos e os compartimentos determinados, avança-se para o cálculo da análise acústica onde o programa tem em atenção ao barulho produzido pelos equipamentos como o lavatório ou o duche bem como o som aéreo exterior. Daí obteve-se os seguintes resultados:

1.1. Resultados da estimativa do isolamento sonoro

Isolamento sonoro a sons de condução aérea exterior

Id	Compartimento recetor	% aberturas	R _{Dd,w} (dB)	R' _w (dB)	S _s (m ²)	V (m ³)	D _{2m,nT,w/A} (dB)	
							exigido	Estimado
1	Quarto (Quarto), Paredes piso 1	24.1	35.1	33.7	5.93	23.5	33	34.8

Notas:

Id: Identificador da ficha de cálculo detalhado para a entrada de resultados na tabela

% aberturas: Percentagem de aberturas da superfície

R_{Dd,w}: Índice ponderado de redução sonora para a transmissão directa

R'_w: Índice de redução sonora aparente

S_s: Área total em contacto com o exterior

V: Volume do compartimento receptor

D_{2m,nT,w/A}: Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado

Segundo a norma NP EN 12354-3, representa-se a soma entre o índice de isolamento sonoro a sons aéreos provenientes do exterior e o termo de adaptação espectral da seguinte forma: D_{2m,nT,w} + C = D_{2m,nT,A}

1 Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, D_{2m,nT,w}

Tipo de compartimento receptor:	Quarto
Localização do compartimento receptor:	Paredes piso 1, unidade de utilização Quarto
Orientação da fachada:	90.0° (Este)
Área total em contacto com o exterior, S_s:	5.9 m ²
Percentagem de aberturas da superfície:	24.1 %
Volume do compartimento receptor, V:	23.5 m ³

$$D_{2m,nT,w} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \log \left(\frac{V}{6T_0 S_s} \right) = 34.8 \text{ dB} \geq 33 \text{ dB}$$



= 33.7 dB

Estes resultados são estimados a partir de combinações desfavoráveis entre os compartimentos emissores, como os compartimentos da casa de banho, e os compartimentos recetores como o quarto e a sala. Verifica-se que o quarto verifica as exigências descritas no artigo 5 do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, referentes aos índices de

isolamento sonoro a sons de condução aérea interior, sons de percussão e sons de condução aérea exterior. A sala também verifica as exigências previstas, podendo ser observado o seu cálculo nos anexos.

4.11. Análise Abastecimento de Águas

Com o apoio da análise acústica desenvolvida no CYPE, para esta análise já está definido os compartimentos bem como as suas disposições. Foi necessário colocar os equipamentos sanitários, neste caso a sanita, o lavatório e o chuveiro. Com o programa Open Bim Water Equipment foi possível colocar esses elementos nas posições previamente escolhidas, tal como observado na Figura 94.

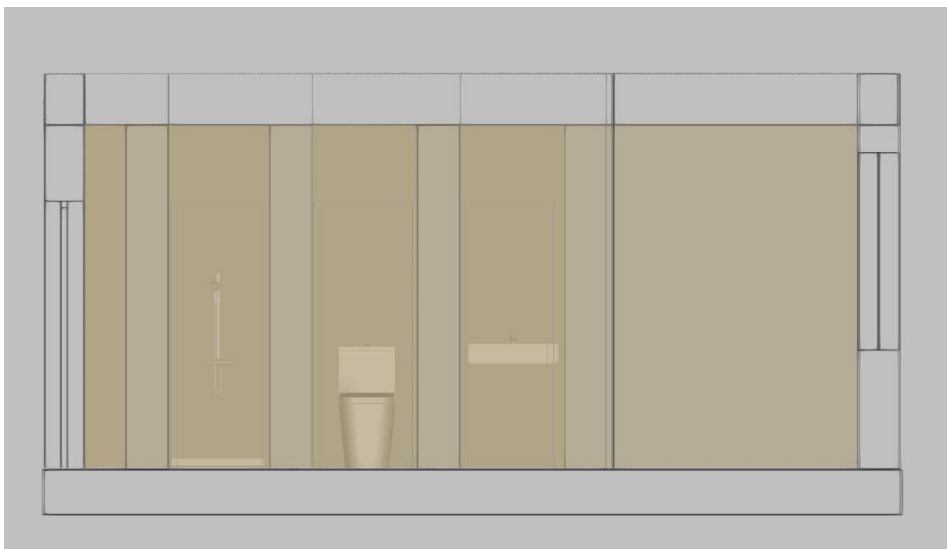


Figura 92 - Equipamentos Sanitários

De seguida e com os elementos sanitários inseridos, é o momento de desenhar as tubagens. É costume fazer o trajeto das tubagens de abastecimento de água, quer quente quer fria, pela parte superior de cada divisão, para deixar a laje inferior para as tubagens de águas residuais. Do ponto de vista da acoplagem de vários módulos para uma residência ou um hotel, a forma mais eficiente de abastecer os módulos é colocando colunas de água que distribuem tanto água fria como água quente para cada quarto. Aproveitando a corete para colocação das colunas de água, traçou-se as tubagens encastradas na laje superior, descendo pelo interior das paredes até ao local de inserção das tubagens nos equipamentos sanitários (Figura 95 e 96).

Os materiais utilizados e os critérios de cálculo estão apresentados em anexo.

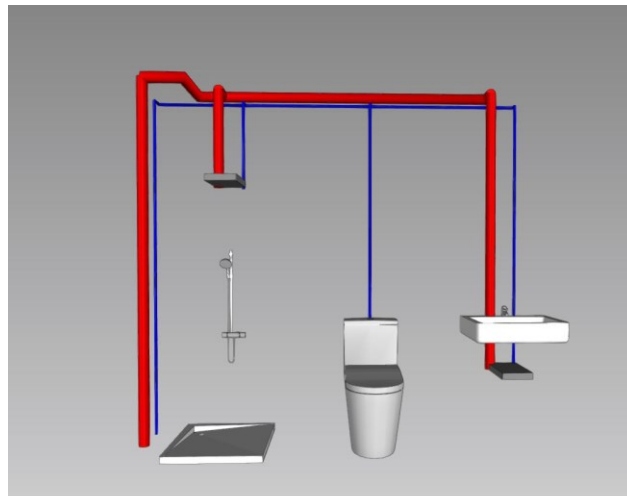


Figura 93 - Tubagens Abastecimento de Água

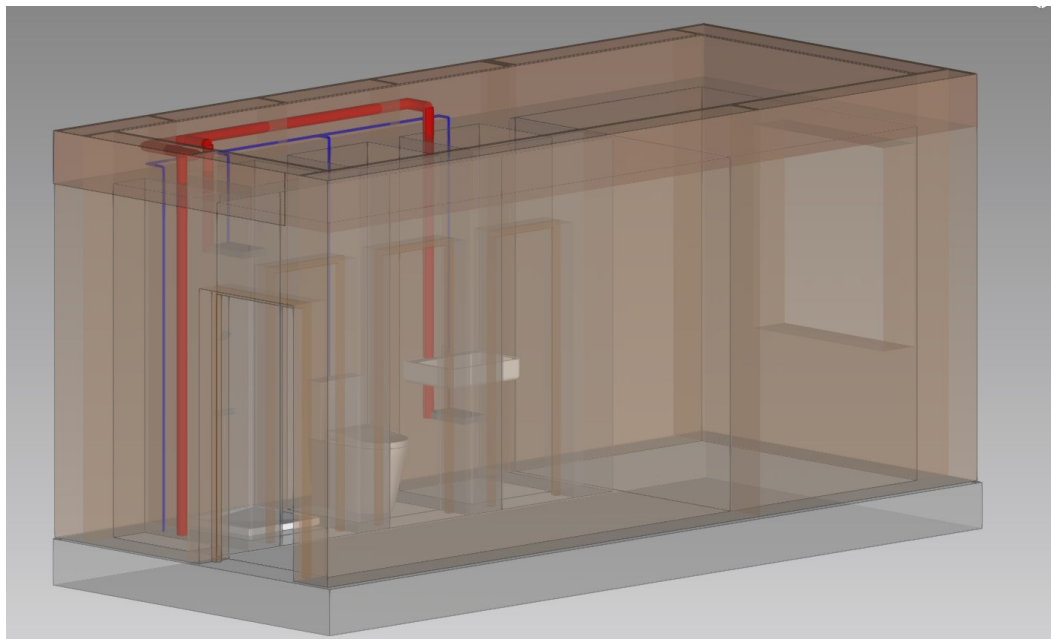


Figura 94 - Tubagens de Abastecimento de Águas inseridas no Módulo

4.12. Análise Drenagem de Águas Residuais

A drenagem de águas residuais segue a mesma linha de pensamento, tendo sido escolhido passar as tubagens de forma encastrada na laje inferior de forma a não aumentar mais a espessura da laje. Como os equipamentos sanitários já tinham sido colocados na análise de abastecimento de águas, essa informação foi transmitida entre programas, tendo facilitado uma fase inicial desta análise. Decidiu-se conduzir as tubagens até um possível ponto de ligação à rede assim como uma caixa de visita, importante nestas análises de drenagem. Ligando as tubagens até aos equipamentos tendo cuidado com os diâmetros nominais mínimos de cada equipamento, seguiu-se a verificação das condições, dando origem ao sistema abaixo ilustrado.

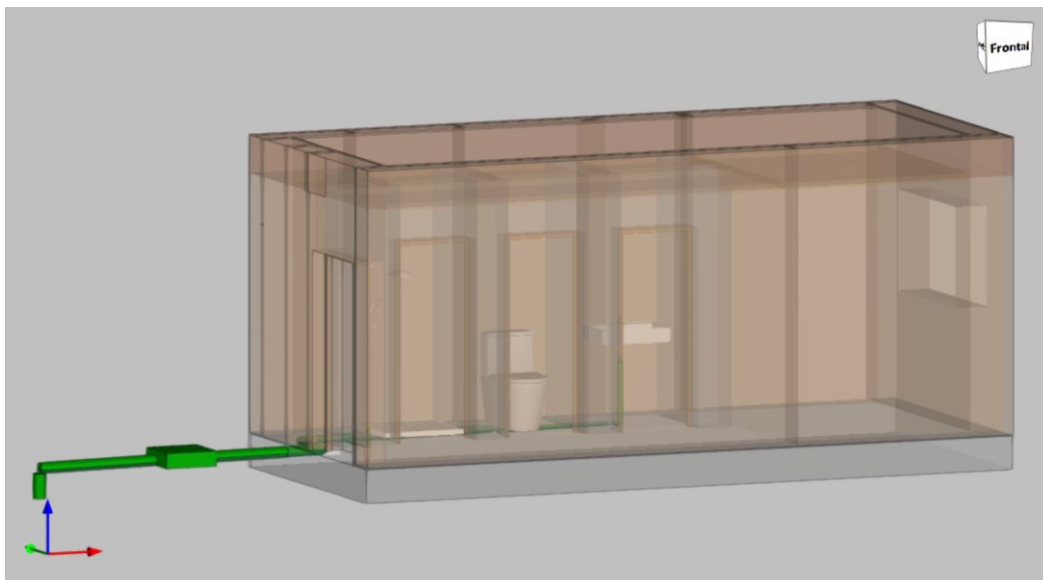


Figura 95- Análise Drenagem de Águas Residuais

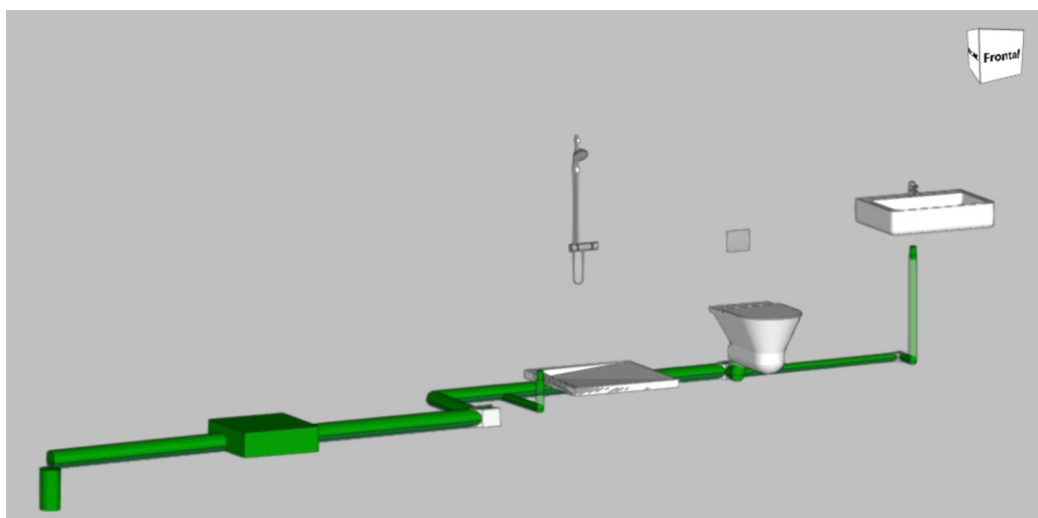


Figura 96 - Traçado Tubagens Drenagens Residuais

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento desta dissertação é esperado colaborar para um maior entendimento das várias potencialidades da utilização da madeira como material de construção quer pela abordagem das suas propriedades intrínsecas como a capacidade de renovação, fácil manuseamento e capacidade de retirar dióxido de carbono da atmosfera, quer pelo seu vasto campo de aplicações tanto da madeira maciça como dos seus derivados. Além disso, é espectável uma maior perceção sobre construção off-site, em especial da construção modular, das suas utilidades e das possíveis formas de colocar esse estilo de construção em prática, tendo em consideração as suas mais-valias e as suas limitações. A junção destes conhecimentos explicados nesta dissertação espera validar a utilização da madeira como material de construção, passível de ser aplicado na construção modular na forma de módulos, como é exemplo o desenvolvido ao longo do capítulo 4.

Espera-se que esta dissertação ajude a validar a utilização de painéis de CLT como elementos estruturais de um módulo habitacional, sem recurso a pilares mas com a utilização de vigas de madeira de modo a restringir as deformações do piso e da cobertura, uma vez que as ações de serviço são as mais prejudiciais para estes tipos de elementos. A análise estrutural respeitou o Eurocódigo 5, com os anexos nacionais.

Foi assegurado o comportamento ao fogo dos materiais utilizados no módulo, nomeadamente os painéis de CLT, as vigas de madeira glulam, o tabuado de madeira de carvalho e o revestimento cerâmico que reveste as paredes das casas de banho através das ETA de cada elemento, documento que indica a reação ao fogo, podendo mencionar a sua resistência ao fogo e a sua taxa de carbonização, como foi fornecido na ETA dos painéis de CLT.

Sucedeu-se à análise térmica do módulo, tendo-se adotado a cortiça como material de isolamento pelas suas capacidades isolantes tanto térmicas como acústicas, prevendo uma diminuição da espessura das paredes do módulo pelo facto de não ser necessário colocar outra camada de um material com capacidades de isolamento acústico. Foi escolhido colocar uma caixa de ar, com o objetivo de assegurar um coeficiente de transmissão (U) abaixo do obrigado pela norma ISO 6946:2017, com vista a não aumentar o custo da solução. Além destes elementos, tornou-se necessário colocar uma tela de forma a controlar o vapor e a bloquear a propagação do mesmo para as restantes camadas.

Aquando da análise térmica foi possível avaliar a análise da sustentabilidade do módulo, que demonstra uma estimativa da perda de calor de cada elemento do módulo, bem como a energia não renovável utilizada na produção dos materiais que compõem cada elemento assim como o potencial de produção de gases com efeito estufa, sendo esse negativo em todos os elementos, uma vez que a maioria dos materiais utilizados têm a capacidade de sequestrar dióxido de carbono. Esta análise deu-se recorrendo à avaliação “cradle-to-gate”, que indica o impacto de carbono do elemento desde o momento em que é produzido até ao momento em que é comercializado.

Por fim, foi desenhado o traçado das tubagens de abastecimento e de drenagem de águas do módulo. O traçado é simplificado uma vez que o ponto de ligação à rede pública e a pressão da rede tem influência nos acessórios necessário para o traçado do abastecimento de água bem como a escolha do sistema de aquecimento de águas. Na drenagem de águas foi possível avaliar se as tubagens têm o dimensionamento necessário para a drenagem das descargas de cada equipamento, assegurando a inclinação, a velocidade e a capacidade da tubagem que respeitam o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais.

5.1. FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

À vista do que foi abordado nesta dissertação, sugere-se analisar os seguintes pontos como futuros passos a desenvolver:

- Projetar a estrutura para edifícios com mais pisos e com vários módulos adjacentes para ser uma análise mais completa, uma vez que para esta análise estrutural apenas se considerou uma coluna de módulos;
- Fazer uma análise mais detalhada sobre as ligações e a forma como os elementos verticais se cruzam com elementos horizontais com atenção a possíveis pontes térmicas;
- Analisar outras soluções sustentáveis para o isolamento térmico e/ou acústico ou materiais que são mais eficientes que a cortiça;
- Ajustar as tubagens quer de abastecimento quer de drenagem de águas ao exemplo prático onde é previsto a utilização deste módulo;
- Projetar um plano para rede de eletricidade a implementar no módulo;
- Avaliar a possibilidade do sistema de aquecimento de água possa ser feito a partir de energia solar, de modo a garantir que este processo de aquecimento é sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. B. Institute, “What is Modular Construction?,” Apr. 2022. <https://www.modular.org/why-modular/> (accessed Apr. 05, 2022).
- [2] N. Bertram, S. Fuchs, J. Mischke, R. Palter, G. Strube, and J. Woetzel, “Modular construction: From projects to products,” 2019.
- [3] A. Fathieh and O. Mercan, “Seismic evaluation of modular steel buildings,” *Eng Struct*, vol. 122, pp. 83–92, Sep. 2016, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2016.04.054.
- [4] E. Modular Building, “DID YOU KNOW...? THE HISTORY OF THE MODULAR BUILDING,” 2022. <https://www.excelmodular.co.uk/the-history-of-modular-buildings/> (accessed Oct. 17, 2022).
- [5] T. Group, “Modular buildings UK: The rise to prominence,” Jan. 2018. <https://thurstongroup.co.uk/history-of-modular-buildings/#:~:text=The%20history%20of%20modular%20buildings%20starts%20in%201837.,popularity%20and%20the%20industry%20grew.> (accessed Apr. 06, 2022).
- [6] D. Modular, “A Brief History of Modular Construction,” Sep. 18, 2019. <https://medium.com/deluxe-modular-news-updates/a-brief-history-of-modular-construction-b0177163ec7a> (accessed Apr. 06, 2022).
- [7] M. Lawson, R. Ogden, and C. Goodier, “Design in Modular Construction,” 2014.
- [8] A. Magalhães, “A pré-fabricação em betão em Edifícios,” 2013.
- [9] RUSTICASA, “Sistema Construtivo ITS,” 2022. <https://rusticasa.com/pt/its-naturlam-pt/> (accessed Oct. 19, 2022).
- [10] J. Branco, R. Mateus, G. Vasconcelos, A. Coelho, and C. Aranha, “MÓDULOS HABITACIONAIS EM MADEIRA,” 2015.
- [11] S. Enso, “3-8 Storey Modular Element Buildings,” 2016.
- [12] S. Passini, G. Augusto, G. Luiz, and F. Aparecida, “STEEL FRAME NA CONSTRUÇÃO CIVIL,” 2014. [Online]. Available: <http://www.reformolar.com.br/construcao-rapida-e-limpa/>
- [13] M. House, “SISTEMA CONSTRUTIVO,” 2019. <https://www.my-house.pt/sistema-construtivo/> (accessed Apr. 08, 2022).
- [14] Futureng, “Light Steel Framing,” 2022. <http://www.futureng.pt/lfsf> (accessed Apr. 12, 2022).
- [15] M. Ferreira, “Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções Autor,” 2004.

- [16] Redação, “Steel frame: o que é, vantagens, desvantagens e fotos,” 2021. <https://www.decorfacil.com/steel-frame/> (accessed Apr. 13, 2022).
- [17] Kaufmann, “BAUSYSTEME,” 2022. <https://kaufmannbausysteme.at/de/system-1> (accessed Oct. 19, 2022).
- [18] TecVerde, “Sistema construtivo,” 2022. <https://www.tecverde.com.br/sistema-construtivo/> (accessed May 17, 2022).
- [19] JULAR, “Catálogo treehouse.” 2021. Accessed: Oct. 31, 2022. [Online]. Available: <https://www.jular.pt/produtos/casas-pre-fabricadas/casas-modulares-treehouse>
- [20] P. Lourenço and J. Branco, “Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI,” 2014. [Online]. Available: <http://imaginacaoativa.wordpress.com/tag/asturias/>
- [21] J. H. J. O. Negro, “Estruturas de madeira em Portugal-Presente e passado recente,” 2011. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/262369070>
- [22] J. Hildebrandt, N. Hagemann, and D. Thrän, “The contribution of wood-based construction materials for leveraging a low carbon building sector in europe,” *Sustain Cities Soc*, vol. 34, pp. 405–418, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.scs.2017.06.013.
- [23] J. Branco, “COMPORTAMENTO DAS LIGAÇÕES TIPO CAVILHA EM ESTRUTURAS MISTAS MADEIRA-BETÃO,” 2003.
- [24] J. Coutinho, “Materiais De Construção 1- MADEIRAS,” 1999.
- [25] Rui Miguel Sendas Jerónimo, “Construção em Madeira - Exigências para a Certificação Energética,” *Universidade de Aveiro*, 2009.
- [26] H. Gross, “Nordic Glulam Handbook,” Stockholm, 2001.
- [27] P. Wei, B. J. Wang, H. Li, L. Wang, S. Peng, and L. Zhang, “A comparative study of compression behaviors of cross-laminated timber and glued-laminated timber columns,” *Constr Build Mater*, vol. 222, pp. 86–95, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.06.139.
- [28] Federation of the Finnish Woodworking Industries, *LVL handbook Europe*. 2020.
- [29] R. Brandner, G. Flatscher, A. Ringhofer, G. Schickhofer, and A. Thiel, “Cross laminated timber (CLT): overview and development,” *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 74, no. 3, pp. 331–351, May 2016, doi: 10.1007/s00107-015-0999-5.
- [30] M. Li, F. Lam, and Y. Li, “Evaluating rolling shear strength properties of CLT by torsional shear tests and bending tests,” 2017. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/321551023>

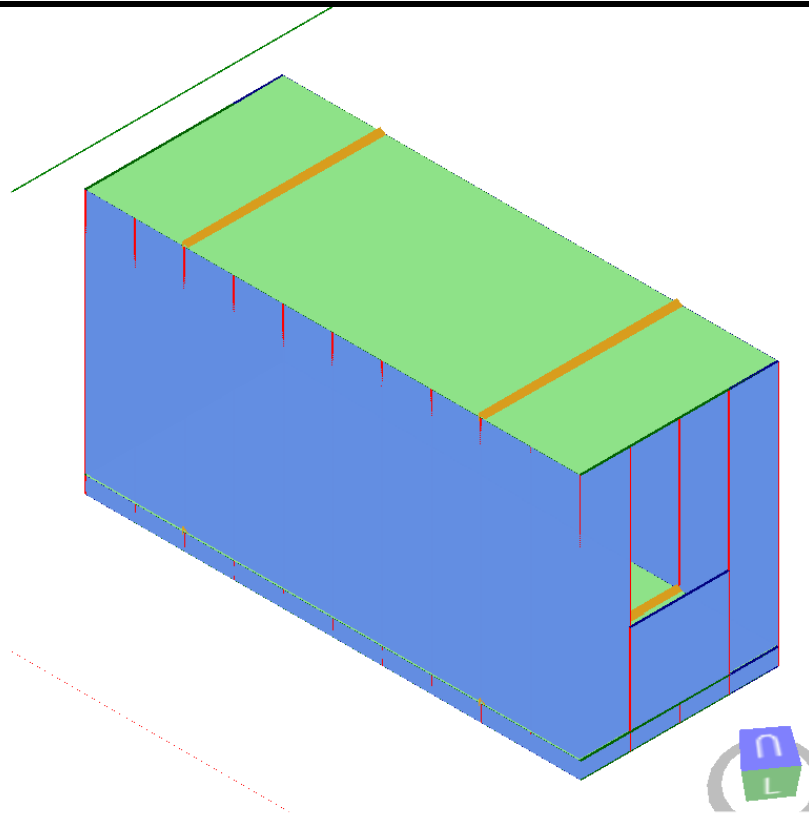
- [31] J. Costa, J. Branco, and A. Camões, “Madeira Termicamente Modificada,” pp. 42–46.
- [32] B. Esteves, P. B. Lourenço, J. M. Branco, and H. S. Sousa, “Utilização e comercialização de madeira modificada,” 2014. [Online]. Available: www.buildings.com.
- [33] B. Esteves and H. Pereira, “Novos Métodos de Protecção da Madeira,” 2010.
- [34] LNEC, *NP EN1995-1-1 - Projeto de estruturas de madeira*. 1998.
- [35] European Committee for Standardization, *Eurocode 5: Design of timber structures- Part 1-2: General-Structural fire design*. 2003.
- [36] EUROPEAN STANDARD, *EN 1995-2 - Design of timber structures - Part 2: Bridges*. 1995.
- [37] European Committee for Standardization, *EN408 - Timber Construction*. 1995.
- [38] LNEC, *EN350-1 Durabilidade da madeira e de produtos derivados Parte 1*. 2001.
- [39] LNEC, *NP EN350-2 Durabilidade da madeira e produtos derivados*. 2000.
- [40] LNEC, *NP EN460 - Durabilidade da madeira e de produtos derivados*. 1995.
- [41] M. Tenório, “Sistema construtivo em painéis modulares para edifícios coletivos com estrutura de madeira,” 2022.
- [42] Fibrosom, “Catálogo - Isolamentos POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS).”
- [43] F. Gonçalo, A. Rocha, and D. Pires, “Sistemas construtivos modulares em madeira,” 2013.
- [44] Eric Borgström and Johan Fröbel, “The CLT Handbook CLT structures-facts and planning,” 2019. [Online]. Available: www.traguiden.se,
- [45] S. Klébert, M. Mohai, and E. Csiszár, “Can Plasma Surface Treatment Replace Traditional Wood Modification Methods?,” *Coatings*, vol. 12, no. 4, p. 487, Apr. 2022, doi: 10.3390/coatings12040487.
- [46] Entreprise MARTIN, “MODIFICATION THERMIQUE DES BOIS,” 2017. <https://www.martin-charpentes.com/actualites-bois/modification-thermique-des-bois> (accessed May 04, 2022).
- [47] S. Enso, “European Technical Assessment CLT ETA-14/0349,” 2020
- [48] C. Sughero, “European Technical Assessment - EC PAC 13 ETA-18/0288,” 2018
- [49] L. Merlin, “European Technical Assessment - Revestimento cerâmico,” 2013
- [50] binderholz, “Catálogo - NATURE IN ARCHITECTURE.”

ANEXOS

ANEXO I – ANÁLISE ESTRUTURAL NO PROGRAMA TIMBERTECH

TECHNICAL DESIGN CALCULATION REPORT

Design of Timber Structures



Project: Módulo Quarto

Structural designer:

Bruna Ribeiro

Date: Friday, September 23, 2022

Design codes and standards

The analysis are done according to: Eurocodes - Portugal NA.

1. EN 1990 – Eurocode 0

Basis of structural design

2. EN 1993-1-1 – Eurocode 3

Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings

3. EN 1993-1-5 – Eurocode 3

Design of steel structures - Part 1-5: Plated structural elements

4. EN 1993-1-8 – Eurocode 3

Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints

5. EN 1995-1-1 – Eurocode 5

Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings

6. EN 1995-1-2 – Eurocode 5

Design of timber structures - Part 1-2: General – Structural fire design

7. EN 1998-1-1 – Eurocode 8

Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings

8. EN 338

Structural timber - Strength classes

9. EN 14080

Timber structures - Glued laminated timber and glued solid timber - Requirements

10. EN 10025

Hot rolled products of structural steels

General description of the building

Location

Address:

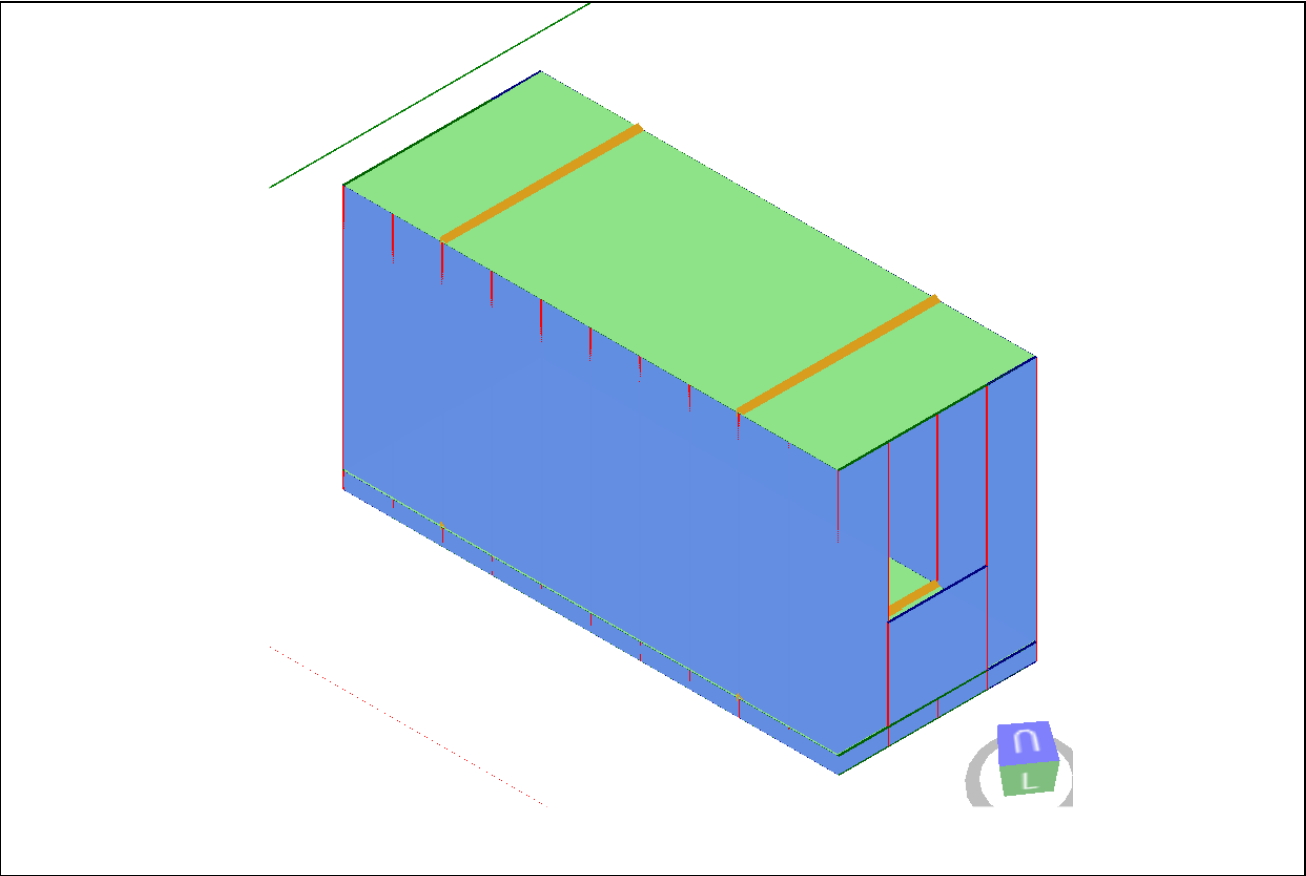
Description

Building length: 2.4 m

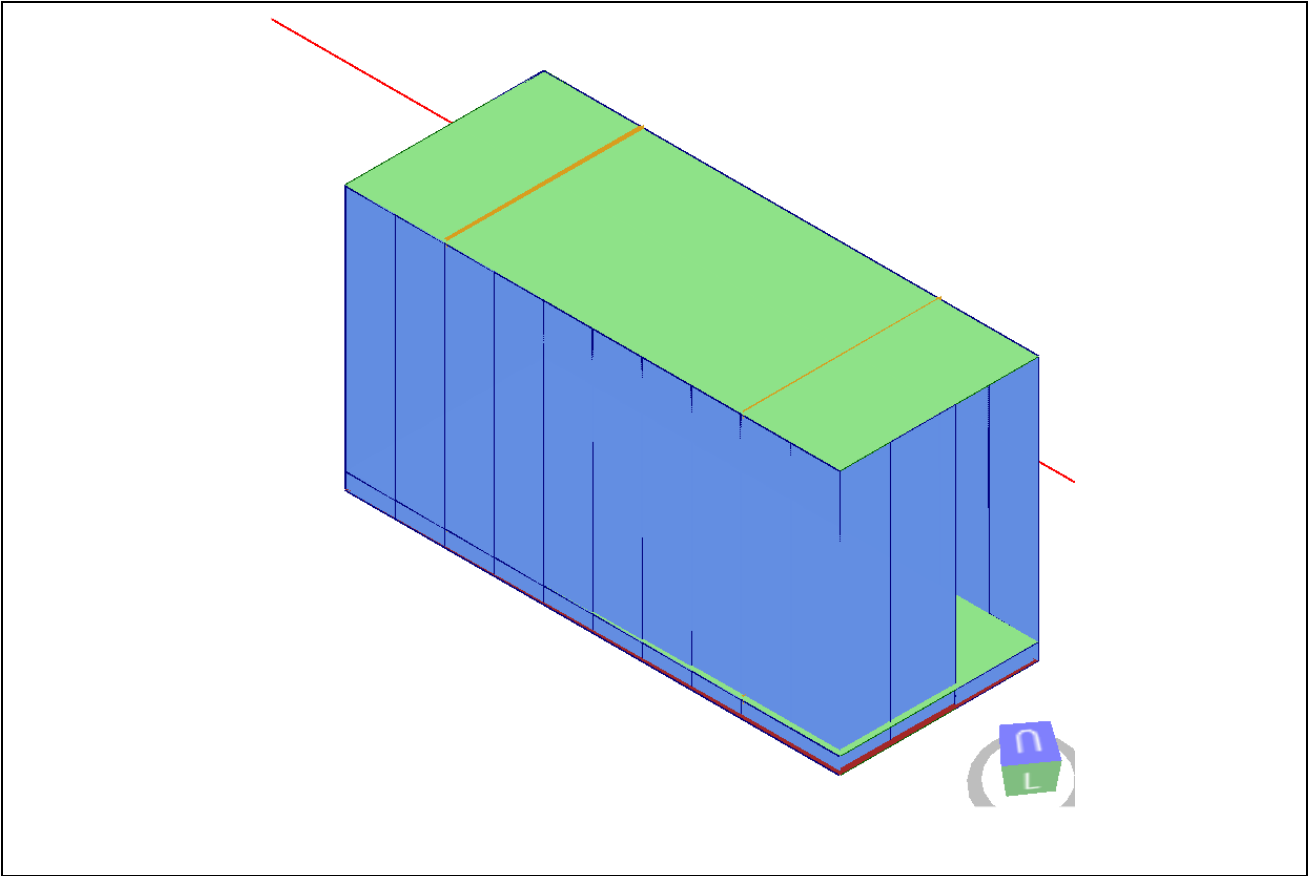
Building width: 6 m

Building height: 3.2 m

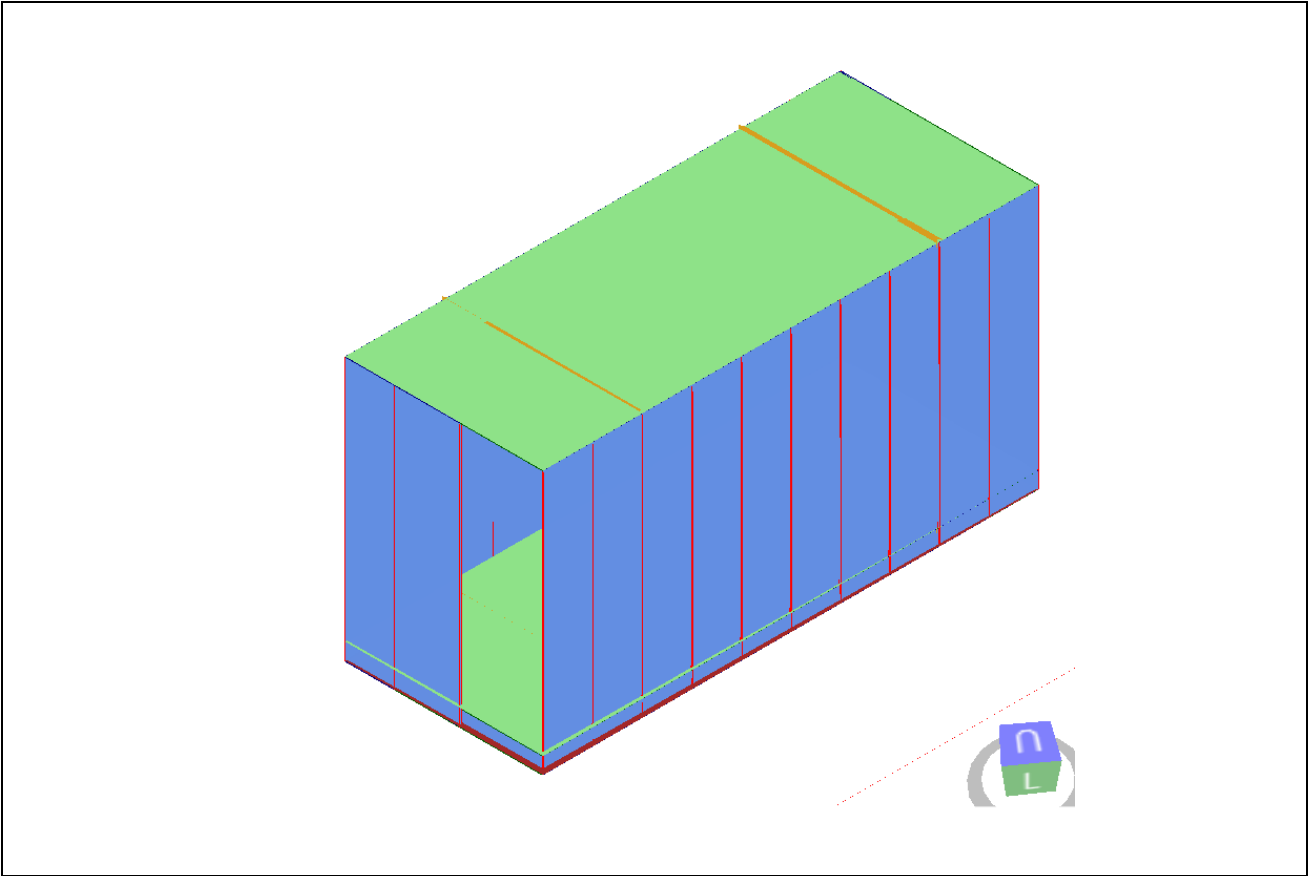
Three-dimensional view Southeast



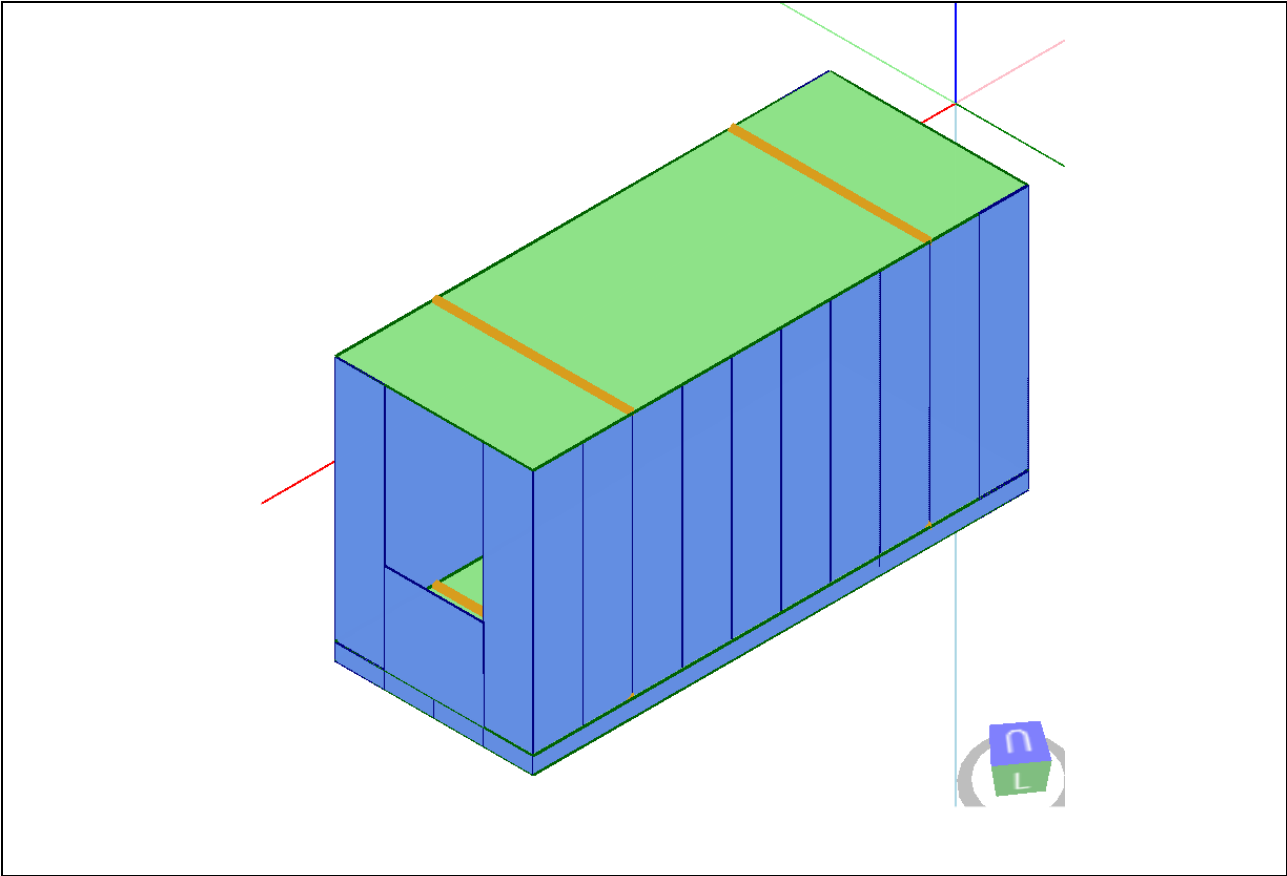
Three-dimensional view Northwest



Three-dimensional view South West



Three-dimensional view North East



Calculation software used

Calculation software features

The software used is *Timber Tech Buildings*, developed by Timber Tech srl, start up of the University of Trento (Italy).

Technical specifications

Name: Timber Tech Buildings

Version: 93

Software Producer: Timber Tech srl

Via della Villa, 22/A

I-38123 – Villazzano – Trento (TN) – Italy

www.timbertech.it

License registered to Bruna Ribeiro

Materials

Wooden materials

The materials used in the project are listed in the following tables.

Descr.	Description
$f_{m,k}$	Characteristic bending strength
$f_{t,0,k}$	Characteristic tensile strength along the grain
$f_{t,90,k}$	Characteristic tensile strength perpendicular to the grain
$f_{c,0,k}$	Characteristic compressive strength along the grain
$f_{c,90,k}$	Characteristic compressive strength perpendicular to the grain
$f_{v,k}$	Characteristic shear strength
$E_{0,mean}$	Mean value of modulus of elasticity along the grain
$E_{0,05}$	Fifth percentile value of modulus of elasticity along the grain
$E_{90,mean}$	Mean value of modulus of elasticity perpendicular to the grain
G_{mean}	Mean value of shear modulus
ρ_k	Characteristic density
$f_{v,k,inplane}$	Characteristic in-plane shear strength of CLT panel
$f_{R,k}$	Characteristic rolling shear strength
$f_{T,k}$	Torsional resistance of crossing surfaces
$G_{R,mean}$	Mean value of rolling shear modulus

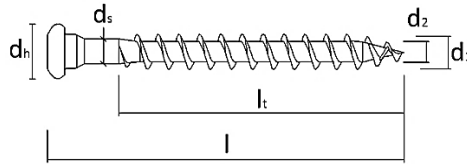
Homogeneous glued-laminated timber

Descr.	$f_{m,k}$ [MPa]	$f_{t,0,k}$ [MPa]	$f_{t,90,k}$ [MPa]	$f_{c,0,k}$ [MPa]	$f_{c,90,k}$ [MPa]	$f_{v,k}$ [MPa]	$E_{0,mean}$ [MPa]	$E_{0,05}$ [MPa]	$E_{90,mean}$ [MPa]	G_{mean} [MPa]	ρ_k [kg/m ³]
GL 24h - EN 14080	24	19.2	0.5	24	2.5	3.5	11500	9600	300	650	385

CLT

Descr	$f_{m,k}$ [MPa]	$f_{t,0,k}$ [MPa]	$f_{t,90,k}$ [MPa]	$f_{c,0,k}$ [MPa]	$f_{c,90,k}$ [MPa]	$f_{v,k,diast}$ [MPa]	$f_{R,k}$ [MPa]	$f_{v,k,last}$ [MPa]	$f_{T,k}$ [MPa]	$E_{0,mean}$ [MPa]	$E_{0,05}$ [MPa]	$E_{90,mean}$ [MPa]	G_{mean} [MPa]	$G_{R,mean}$ [MPa]	ρ_k [kg/m ³]
C 24 Stora Enso - Spruce	24	14.5	0.12	21	2.5	4	1.05	3.9	2.5	12000	7400	370	460	50	350

Screws for plates



Manufacturer	Code	Descr.	Type	l [mm]	l _t [mm]	d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	d _h [mm]	f _{uk} [MPa]
Borga Italia	3900 99555000	Screw - CSA 5,0 x 50	Pan head	50	44	5	3.15	8.3	1000

Concrete anchors

Manufacturer	Threaded-rod / Mechanical anchor code	Threaded-rod / Mechanical anchor descr.	Chemical anchor code	Chemical anchor descr.
Rotho Blaas	FE210123	Threaded rod INA - 5.8 - M27 x 400	FE400070	Epoxy chemical anchor ETA-11/0182
Borga Italia	2000 03012000	Threaded rod - 8.8 - M12	3015 01010400	Epoxy chemical anchor ETA 11/0344

Calculation method and numerical model

Model Description

Hypothesis adopted for the elements

The timber walls are constrained at the base by means of connection systems capable of transmitting both in-plane and out-of-plane actions action on the wall.

In the analysis, in presence of horizontal loads, some elements may be defined as “secondary”: this mean that their strength and stiffness are neglected in the calculation of the response of the building. In the model these elements are represented in terms of mass and they are designed only for vertical loads.

Rigid body rocking – Forces on hold-down / tie-down

The hold-down or tie-down systems are used to prevent the rotation of the wall caused by the overturning moment of the horizontal force. The hold-down, placed on the in-tension edge of the wall, is loaded by a force equal to

$$T = \begin{cases} \left(\frac{M_{3-3}}{b} - \frac{N}{2} \right) \cdot \frac{1}{n_{anc}} & \text{for active hold - down} \\ 0 & \text{for inactive hold - down} \end{cases}$$

where:

b is the lever arm for the internal couple;

N is the axial vertical load acting on the wall;

M_{3-3} is the moment acting in the plane of the wall;

n_{anc} is the number of connections present at each end of the wall.

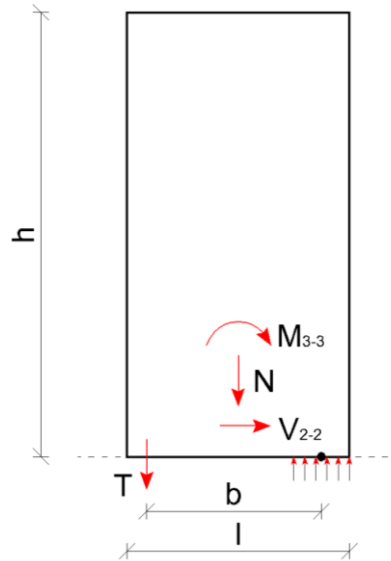


Figure: Calculation model of tensile force acting on the hold-down

Structural elements

The following table shows the positions of the individual walls. The last four columns show the coordinates of the ends of each wall.

X1 and Y1 indicate the coordinates of the starting point of the wall

X2 and Y2 indicate the coordinates of the end point of the wall

Wall name	Type of wall	Element resistant to horizontal loads	Height [m]	Length [m]	Altitude [m]	X1 [m]	Y1 [m]	X2 [m]	Y2 [m]
Wall 212	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	9.62	2.1	9.62	2.7
Wall 214	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	9.62	3.9	9.62	4.5
Wall 215	CLT	Yes	3.2	0.6	0	3.62	4.5	3.62	3.9
Wall 221	CLT	No	3.2	0.8	0	3.62	3.9	3.62	3.1
Wall 227	CLT	No	0.2	1	0	3.62	3.1	3.62	2.1
Wall 232	CLT	No	1.1	1.2	0.2	9.62	2.7	9.62	3.9
Wall 30	CLT	Yes	0.2	0.6	0	3.62	2.1	4.22	2.1
Wall 31	CLT	Yes	0.2	0.6	0	4.22	2.1	4.82	2.1
Wall 32	CLT	Yes	0.2	0.6	0	4.82	2.1	5.42	2.1
Wall 33	CLT	Yes	0.2	0.6	0	5.42	2.1	6.02	2.1
Wall 37	CLT	Yes	0.2	0.6	0	6.02	2.1	6.62	2.1
Wall 38	CLT	Yes	0.2	0.6	0	6.62	2.1	7.22	2.1
Wall 39	CLT	Yes	0.2	0.6	0	7.22	2.1	7.82	2.1
Wall 40	CLT	Yes	0.2	0.6	0	7.82	2.1	8.42	2.1
Wall 41	CLT	Yes	0.2	0.6	0	8.42	2.1	9.02	2.1
Wall 42	CLT	Yes	0.2	0.6	0	9.02	2.1	9.62	2.1
Wall 43	CLT	Yes	0.2	0.6	0	3.62	4.5	4.22	4.5
Wall 44	CLT	Yes	0.2	0.6	0	4.22	4.5	4.82	4.5
Wall 45	CLT	Yes	0.2	0.6	0	5.42	4.5	6.02	4.5
Wall 46	CLT	Yes	0.2	0.6	0	4.82	4.5	5.42	4.5
Wall 47	CLT	Yes	0.2	0.6	0	6.02	4.5	6.62	4.5
Wall 48	CLT	Yes	0.2	0.6	0	6.62	4.5	7.22	4.5
Wall 49	CLT	Yes	0.2	0.6	0	7.22	4.5	7.82	4.5
Wall 50	CLT	Yes	0.2	0.6	0	7.82	4.5	8.42	4.5
Wall 51	CLT	Yes	0.2	0.6	0	8.42	4.5	9.02	4.5
Wall 52	CLT	Yes	0.2	0.6	0	9.02	4.5	9.62	4.5
Wall 58	CLT	Yes	0.2	0.6	0	9.62	2.1	9.62	2.7
Wall 59	CLT	Yes	0.2	0.6	0	9.62	2.7	9.62	3.3
Wall 60	CLT	Yes	0.2	0.6	0	9.62	3.3	9.62	3.9
Wall 61	CLT	Yes	0.2	0.6	0	9.62	3.9	9.62	4.5
Wall 66	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	9.62	4.5	9.02	4.5

Wall 67	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	9.02	4.5	8.42	4.5
Wall 68	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	8.42	4.5	7.82	4.5
Wall 69	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	7.82	4.5	7.22	4.5
Wall 70	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	7.22	4.5	6.62	4.5
Wall 71	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	6.62	4.5	6.02	4.5
Wall 72	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	6.02	4.5	5.42	4.5
Wall 73	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	5.42	4.5	4.82	4.5
Wall 74	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	4.82	4.5	4.22	4.5
Wall 75	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	4.22	4.5	3.62	4.5
Wall 80	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	3.62	2.1	4.22	2.1
Wall 81	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	4.22	2.1	4.82	2.1
Wall 82	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	4.82	2.1	5.42	2.1
Wall 83	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	5.42	2.1	6.02	2.1
Wall 84	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	6.02	2.1	6.62	2.1
Wall 85	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	6.62	2.1	7.22	2.1
Wall 86	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	7.22	2.1	7.82	2.1
Wall 87	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	7.82	2.1	8.42	2.1
Wall 88	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	8.42	2.1	9.02	2.1
Wall 89	CLT	Yes	3.0	0.6	0.2	9.02	2.1	9.62	2.1

Wall horizontal stiffness

The wall stiffness can be estimated considering the contributions of all the components, as shown below.

CLT walls

The overall stiffness of CLT walls is calculated taking into account the contribution of the following components:

- CLT panel (k_{XLAM})
- shear connections – angle brackets (k_a)
- hold-down or tie-down (k_h)

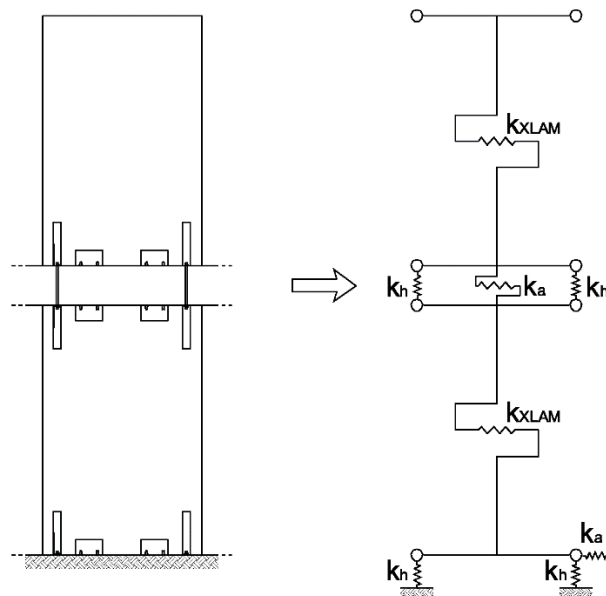


Figure: Mechanical model for CLT walls overall stiffness

The following table indicates the positions of the walls and their equivalent shear stiffness.

Wall name	Type of wall	Element resistant to horizontal loads	Height [m]	Lenght [m]	Equivalent shear stiffness [kN/m]
Wall 212	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 214	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 215	CLT	Yes	3.2	0.6	4740
Wall 221	CLT	No	3.2	0.8	0
Wall 227	CLT	No	0.2	1	0
Wall 232	CLT	No	1.1	1.2	0
Wall 30	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 31	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 32	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 33	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 37	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 38	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 39	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 40	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 41	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 42	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 43	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 44	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 45	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 46	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 47	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 48	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 49	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 50	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 51	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 52	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 58	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 59	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 60	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 61	CLT	Yes	0.2	0.6	102337
Wall 66	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 67	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 68	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 69	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 70	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 71	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 72	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 73	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 74	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 75	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 80	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 81	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 82	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 83	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 84	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 85	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 86	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 87	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 88	CLT	Yes	3.0	0.6	7596
Wall 89	CLT	Yes	3.0	0.6	7596

Types of structural elements and sign conventions

Linear elements

The linear elements are used to model beams and columns. They have a local reference system with respect to which stress/force components are shown. The sign convention adopted is shown in the figure below.

Force	Description	Unit of measure
N	Axial force	kN
M ₃₋₃	Bending moment about local axis 3	kN m
V ₂	Shear along local axis 2	kN
M ₂₋₂	Bending moment about local axis 2	kN m
V ₃	Shear along local axis 3	kN

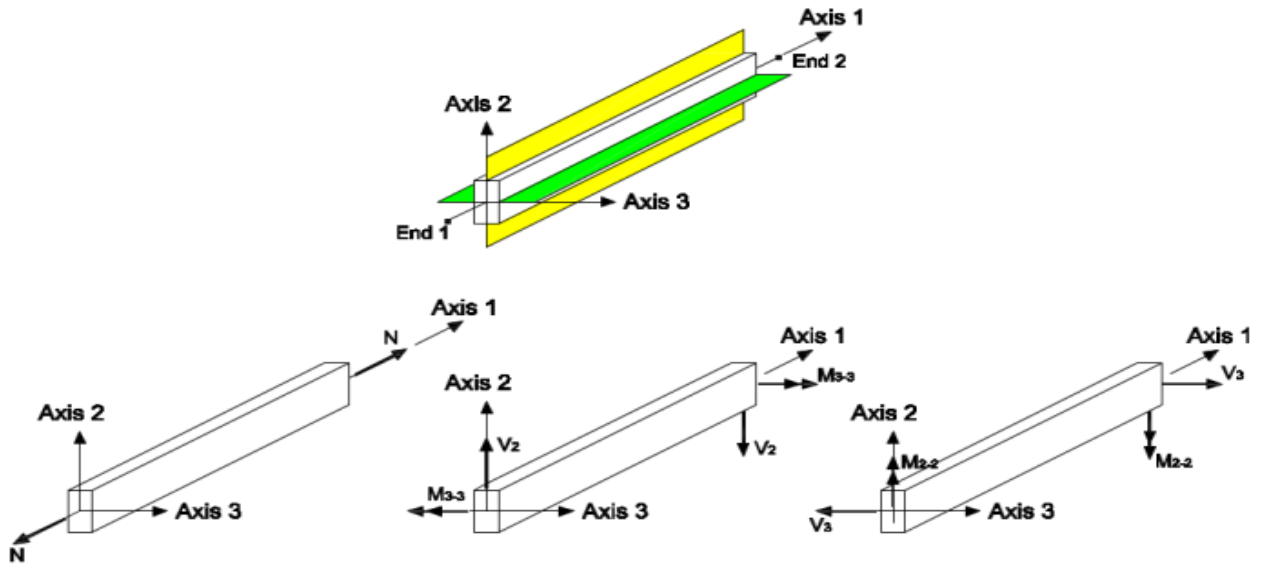


Figure: sign conventions for beams

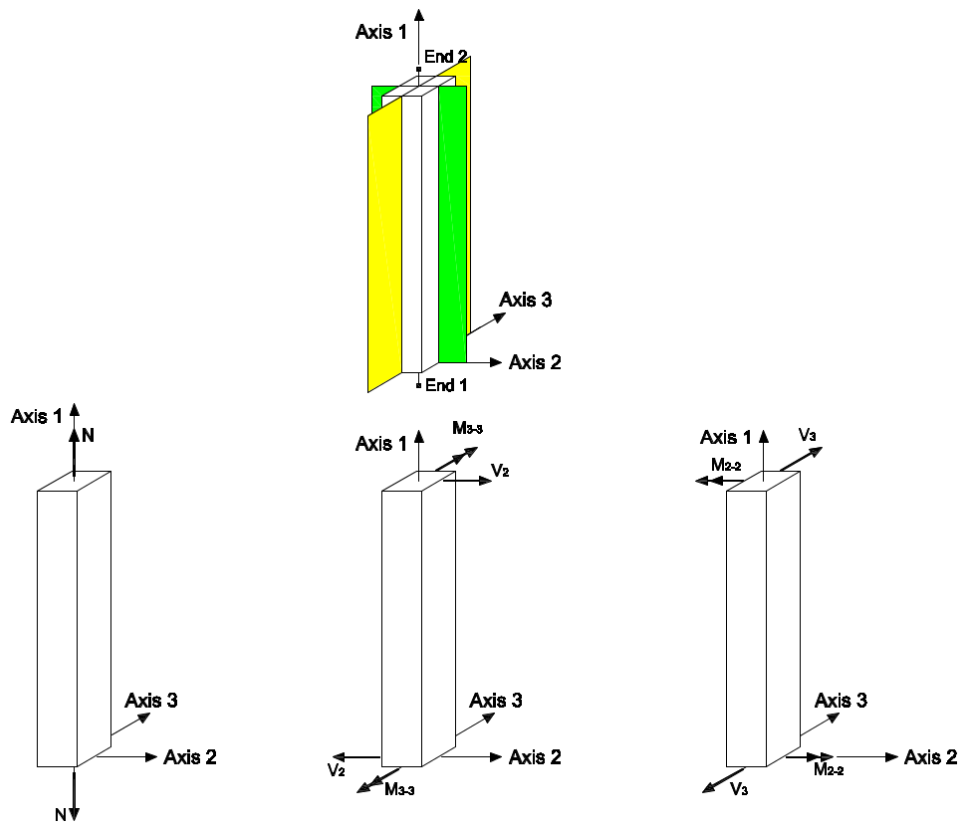


Figure: sign conventions for columns

Wall elements

The walls, regardless of type, have the following sign conventions.

	Stress	Description	Unit of measure
In-plane stresses	n	Axial stress (per unit length)	kN/m
	$m_{3,3}$	Bending moment about local axis 3 (per unit length)	kNm/m
	v_2	Shear along local axis 2 (per unit length)	kN/m
Out-of-plane stresses (plate)	$m_{2,2}$	Bending moment about local axis 2 (per unit length)	kNm/m
	v_3	Shear along local axis 3 (per unit length)	kN/m

	Force	Description	Unit of measure
In-plane stresses	N	Total axial force	kN
	$M_{3,3}$	Bending moment about local axis 3	kNm
	V_2	Shear along local axis 2	kN
Out-of-plane stresses (plate)	$M_{2,2}$	Bending moment about local axis 2	kNm
	V_3	Shear along local axis 2	kN

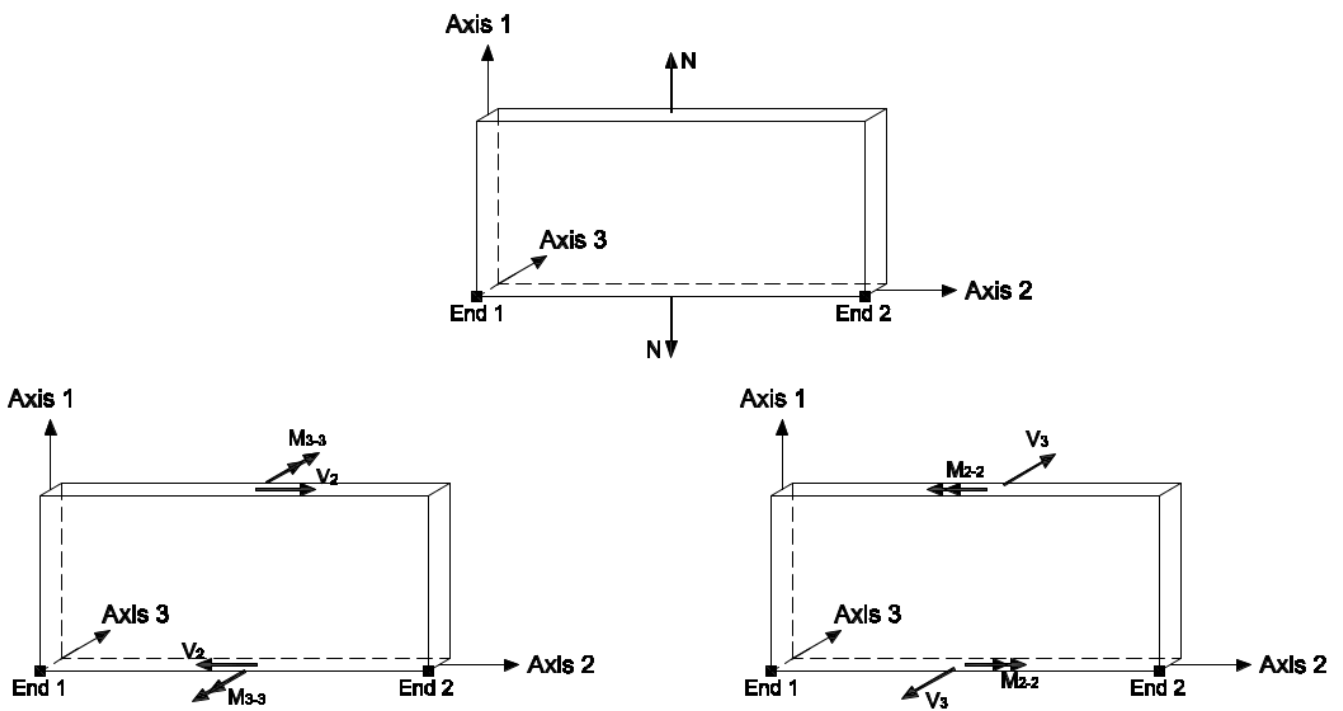


Figure: sign conventions for walls

Actions and design loads

Self-weight of structural materials

The weights of the structural materials are shown in the table below in kN/m³

Description	Specific weight γ [kN/m ³]
GL 24h - EN 14080	5
C 24 Stora Enso - Spruce	5

Wind action

The wind action is evaluated in accordance with the European standard EN 1-1-4. The wind action is represented by a simplified set of forces whose effects is equivalent to the extreme effects of the turbulent wind.

Project data

Terrain category: Terrain category II

Basic wind velocity: 27 m/s

Mean wind

The mean wind velocity $v_m(z)$ at a height z above the terrain depends on the terrain roughness and orography and on the basic wind velocity according to the following expression:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

where:

$c_r(z)$ is the roughness factor that depends on the terrain category and on the height z above the terrain of the relevant point;

$c_o(z)$ is the orography factor taken as 1;

v_b is the basic wind velocity.

According to section 4.3.2 of EN 1991-1-4, the roughness factor can be determined as follows:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{for } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$
$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad \text{for } z \leq z_{min}$$

where:

z_0 and z_{min} are defined according to the terrain category:

Terrain category		z_0	z_{min}
0	Sea or coastal area exposed to the open sea	0,003	1
I	Lakes or flat and horizontal area with negligible vegetation and without obstacles	0,01	1
II	Area with low vegetation such as grass and isolated obstacles (trees, buildings) with separations of at least 20 obstacle heights	0,05	2
III	Area with regular cover of vegetation or buildings or with isolated obstacles with separations of maximum 20 obstacle heights (such as villages, suburban terrain, permanent forest)	0,3	5
IV	Area in which at least 15% of the surface is covered with buildings and their average height exceeds 15 m	1,0	10

k_r is the terrain factor calculated using:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}$$

with: $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$

Wind turbulence

The turbulence intensity $I_v(z)$ at a height z is defined as the standard deviation of the turbulence divided by the mean wind velocity and it can be determined as:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{1}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{for } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \quad \text{for } z \leq z_{min}$$

Peak velocity pressure

The peak velocity pressure $q_p(z)$ at a height z can be determined as:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

where:

$I_v(z)$ is the turbulence intensity;

ρ is the air density taken as 1.25 kg/m^3 ;

$v_m(z)$ is the mean wind velocity;

$c_e(z)$ is the exposure factor defined as $c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$;

q_b is the basic wind pressure defined as $q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$.

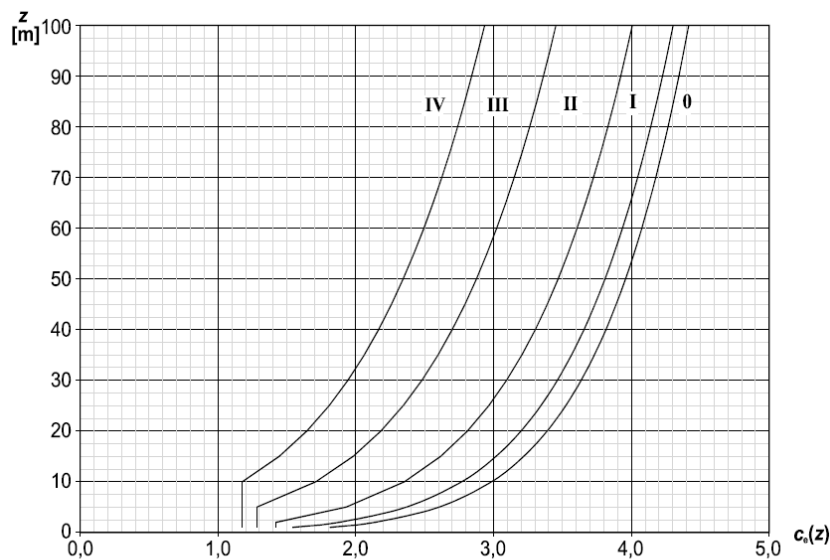


Figure 4.2 — Illustrations of the exposure factor $c_e(z)$ for $c_0=1,0$, $k_r=1,0$

The basic wind pressure results to be equal to:

$$q_b = 455.63 \text{ N/m}^2$$

Wind pressure on surfaces

The wind pressure acting on the external surfaces can be determined according to:

$$w_e(z_e) = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

The wind pressure acting on the internal surfaces can be determined according to:

$$w_i(z_i) = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

where:

c_{pe} is the pressure coefficient for the external pressure that can be calculated according to section 7.2 of EN 1991-1-4 or according to data supported by appropriate documentation or by experimental campaigns in wind tunnel;

c_{pi} is the pressure coefficient for the internal pressure

The reference heights z_e to be considered in the calculation of the peak reference wind pressure are defined as follows:

- Windward surfaces of walls: the reference height changes along the structure height in accordance with point 7.2.2 on EN 1991-1-4;
- Leeward surfaces of walls: the reference height is equal to the maximum height of the building;
- Internal pressures: the reference height is equal to the maximum height of the building.

Wind forces

The wind forces for the whole structure or a structural component can be determined by calculating forces from surface pressures according to the following equations.

External forces:

$$F_{w,e} = c_s \cdot c_d \cdot \sum_{surfaces} w_e(z_e) \cdot A_{ref}$$

Internal forces:

$$F_{w,i} = \sum_{surfaces} w_i(z_i) \cdot A_{ref}$$

where:

c_s is the size factor that takes into account the effect on wind actions from the non-simultaneous occurrence of peak wind pressures on the surfaces. It is taken equal to 1;

c_d is the dynamic factor that takes into the effect of the vibrations of the structure due to turbulence. It is taken equal to 1.

Loads acting on the walls

The following table shows the loads acting on the walls.

Load name: Load ID

Position: Position of the wall: internal or external

$g_{1,k}$: Permanent action: self weight

$g_{2,k}$: Permanent action

$q_{,wind,k}$: Variable actions: wind load on windward, leeward and lateral surfaces

Wall name	Position	Load name	$g_{1,k}$ [kN/m ²]	$g_{2,k}$ [kN/m ²]	$q_{,wind,k}$ downwind [kN/m ²]	$q_{,wind,k}$ windward [kN/m ²]	$q_{,wind,k}$ lateral [kN/m ²]
Wall 30	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 31	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 32	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 33	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 37	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 38	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 39	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 40	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 41	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 42	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 43	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 44	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 45	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 46	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 47	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 48	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 49	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 50	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 51	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 52	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 58	External	External walls load	0.5	0.6	-0.44	0.74	-1.07
Wall 59	External	External walls load	0.5	0.6	-0.44	0.74	-1.07

Wall 60	External	External walls load	0.5	0.6	-0.44	0.74	-1.07
Wall 61	External	External walls load	0.5	0.6	-0.44	0.74	-1.07
Wall 66	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 67	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 68	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 69	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 70	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 71	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 72	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 73	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 74	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 75	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 80	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 81	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 82	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 83	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 84	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 85	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 86	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 87	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 88	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 89	External	External walls load	0.5	0.6	-0.55	0.84	-1.07
Wall 212	External	External walls load	0.5	0.6	-0.44	0.79	-1.07
Wall 214	External	External walls load	0.5	0.6	-0.44	0.79	-1.07
Wall 215	External	External walls load	0.5	0.6	-0.44	0.79	-1.07
Wall 221	External	External walls load	0.5	0.6	-0.44	0.79	-1.07
Wall 227	External	External walls load	0.5	0.6	-0.44	0.74	-1.07
Wall 232	External	External walls load	0.5	0.6	-0.44	0.74	-1.07

Loads acting on the floors

The following table shows the characteristic values of the loads acting on the decks.

Load name: Load ID

Position: Position of the floor: internal or external

Environment: Load category

α : Roof pitch angle

$g_{1,k}$: Permanent action: self weight

$g_{2,k}$: Permanent action

q_k : Variable actions

$q_{\text{snow},k}$: Variable actions: snow load

$q_{\text{wind},k}$: Variable actions: wind load

Floor name	Position	α [°]	Load name	Environment	$g_{1,k}$ [kN/m ²]	$g_{2,k}$ [kN/m ²]	q_k [kN/m ²]	$q_{\text{snow},k}$ [kN/m ²]	$q_{\text{wind},k}$ in depression [kN/m ²]	$q_{\text{wind},k}$ in pressure [kN/m ²]
Piso 1	Internal floor	0	Floor load: residential	Imposed loads category A: floors	0.7	2	2	0	0	0
Floor 2	Internal floor	0	Floor load: residential	Imposed loads category A: floors	0.7	2	2	0	0	0

Line loads

The following table shows the characteristic values of the line loads acting on the beams and the decks.

Load name: Load ID

Position: Position of the element: internal or external

Environment: Load category

$G_{1,k}$: Permanent action: self weight

$G_{2,k}$: Permanent action

Q_{k} : Variable actions

$Q_{,snow,k}$: Variable actions: snow load

$Q_{,wind,k}$: Variable actions: wind load

Element name	Position	Load name	Environment	$G_{1,k}$ [kN/m]	$G_{2,k}$ [kN/m]	Q_{k} [kN/m]	$Q_{,snow,k}$ [kN/m]	$Q_{,wind,k}$ In depression [kN/m]	$Q_{,wind,k}$ In pressure [kN/m]
Beam 157	Internal load	Default linear load	-	0.16	0	-	0	0	0
Beam 158	Internal load	Default linear load	-	0.16	0	-	0	0	0
Beam 159	Internal load	Default linear load	-	0.16	0	-	0	0	0
Beam 160	Internal load	Default linear load	-	0.16	0	-	0	0	0

Seismic actions

The seismic actions are evaluated according to the Eurocode 8 and the National annex. The earthquake motion at a given point on the surface is represented by an elastic ground acceleration response spectrum.

The response spectra are calculated using the design ground acceleration a_g on type A ground: the acceleration is equal to a_{gR} , the value of the reference peak ground acceleration on type A ground, times the importance factor γ_I .

The response spectrum for the damage limit requirement is obtained multiplying the reduction of the design ground acceleration a_g by the reduction factor ν .

The parameters defining the design ground acceleration a_g on type A ground and the acceleration values for the ULS and DLS are reported below:

The reduction factor of the Damage limitation Limit State spectrum: 0.4

Importance factor: 1

Limit States	a_g [g]
ULS – Ultimate Limit State	0
DLS – Damage Limitation limit State	0

The value of the periods T_B , T_C , T_D and of the soil factor S defining the shape of the elastic response spectrum depend on the ground type and on the spectrum type. The parameters used are reported below:

Spectrum type: Type 1

Ground type: A

S soil factor: 1

T_B lower limit of the period of the constant spectral acceleration branch: 0.1s

T_C upper limit of the period of the constant spectral acceleration branch: 0.6s

T_D value defining the beginning of the constant displacement response range of the spectrum: 2s

Horizontal elastic response spectrum

For the horizontal components of the seismic action, the elastic response spectrum $S_e(T)$ is defined by the following expressions:

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_e(T) = a_g \times S \times \left[1 + \frac{T}{T_B} \times (\eta \times 2,5 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \quad S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5$$

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

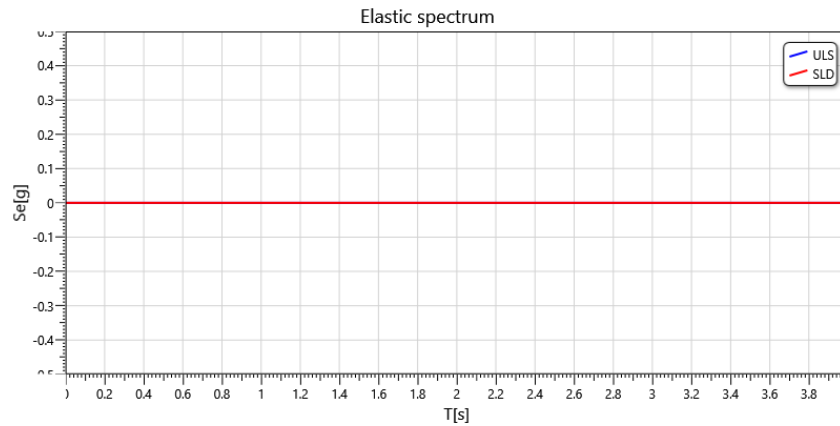
$$T \leq T_D \quad S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

Horizontal elastic response spectra are reported below; they are calculated using the following values of the parameters η and ξ

η 1

ξ 5%

η is the damping correction factor with a reference value of $\eta = 1$ for 5% viscous damping.



Design spectrum for elastic analysis (NO-COLLAPSE)

To avoid explicit inelastic structural analysis in design, the capacity of the structure to dissipate energy, through mainly ductile behavior of its elements and/or other mechanisms, is taken into account by performing an elastic analysis based on a response spectrum reduced with respect to the elastic one, henceforth called a "design spectrum". This reduction is accomplished by introducing the behavior factor q . The design spectrum is **defined by the following expressions:**

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_d(T) = a_g \times S \times \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \times \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \quad S_d(T) = a_g \times S \times \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_d(T) = \begin{cases} a_g \times S \times \frac{2,5}{q} \times \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \times a_g \end{cases}$$

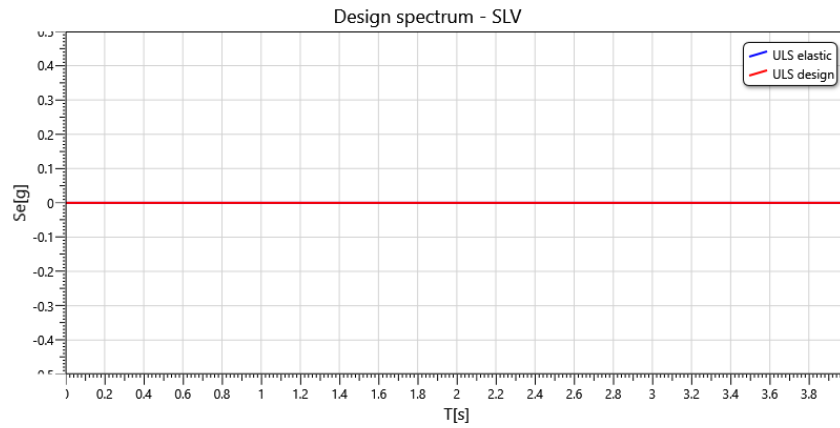
$$T \leq T_D \quad S_d(T) = \begin{cases} a_g \times S \times \frac{2,5}{q} \times \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \times a_g \end{cases}$$

where

β is the lower bound factor for the horizontal design spectrum equal to 0.2

q is the behaviour factor: 1.5

The horizontal elastic response spectra and the horizontal design spectrum (Ultimate Limit State) are shown below:



Sections of the structural elements

CLT walls

The following table shows the CLT walls characteristics.

Section name	Manufacturer	Panel name	Material	Layers number	Thickness [mm]	Layers	Orientation of the outer layers
CLT 100MM	Stora Enso	CLT 100 C5s	C 24 Stora Enso - Spruce	5	100	20 - 20 - 20 - 20 - 20	Vertical

CLT floors

Floor geometric characteristic

h_b : CLT panel thickness

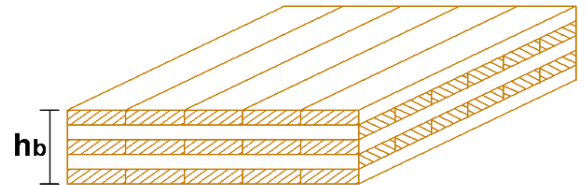


Figure: CLT floor geometric characteristics

The following table sets out the details concerning the CLT floors.

Section name	Manufacturer	CLT panel name	Material	Number of layers	Thickness h_b [mm]	Layers	External layers orientation
CLT floor 2	Stora Enso	CLT 140 L5s	C 24 Stora Enso - Spruce	5	140	40 - 20 - 20 - 20 - 40	Parallel to the calculation direction

Cross section of timber linear elements

The following table sets out the details concerning the cross section of every linear element.

Section name	Material	Width b [mm]	Height h [mm]	Area A [mm ²]	J _{y,y} [mm ⁴]	J _{z,z} [mm ⁴]
Timber section	GL 24h - EN 14080	180	180	32400	8.75E7	8.75E7

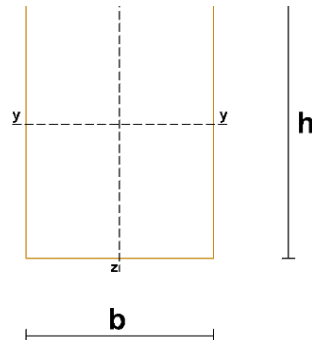


Figure: Geometric size of every timber cross section

Connections

Hold Down

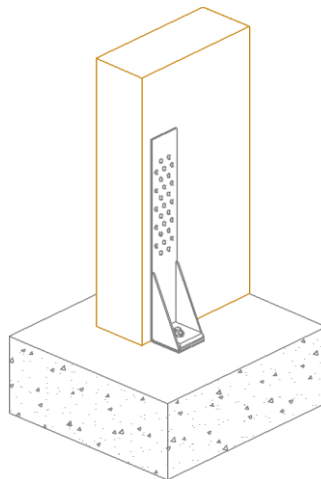


Figure: graphical representation of a hold-down in a base connection (timber wall – foundation connection)

Connection name	Connection position	Manufacturer	Description	Fasteners number	Fastener typology	Anchor	Chemical anchor	Number of hold-down at each wall end
Ligação piso 0	Ground connection	Rotho Blaas	WHT XXL	75	Screw - LBS 5,0 X 40	Threaded rod INA - 5.8 - M27 x 400	Epoxy chemical anchor ETA-11/0182	6

Timber-reinforced concrete connection

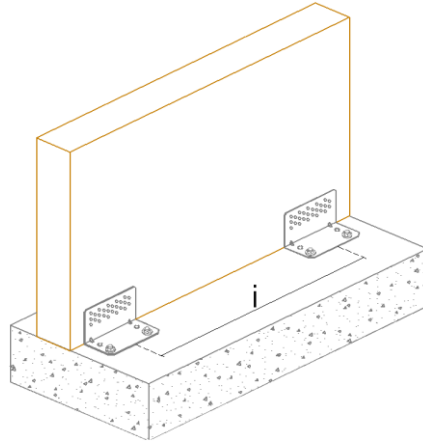


Figure: graphical representation of the shear connection with angle brackets

Connection name	Connection position	Manufacturer	Description	Fasteners number on the vertical plate	Fastener typology	Anchors number	Anchor	Chemical anchor	Number of sides	Angle brackets spacing i [mm]
Ligação Piso 0	Ground connection	Borga Italia	BI ANGLE BRACKET FLA 70	42	Screw - CSA 5,0 x 50	2	Threaded rod - 8.8 - M12	Epoxy chemical anchor ETA 11/0344	2	200

Punched metal plate/Punched strap for tension force

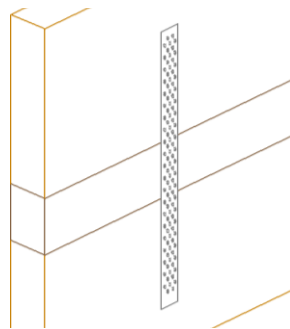


Figure: graphical representation of a punched strap

Connection name	Connection position	Manufacturer	Description	Width [mm]	Length [mm]	Thickness [mm]	Steel grade	Number of fasteners at each end	Fasteners typology	Number of connections at each wall end
Ligação Superior Tração	Upper level	Borga Italia	SIM Plate NPB 255	255	214	3	S250	4000	Screw - CSA 5,0 x 50	4

Angle bracket - Timber to timber connection

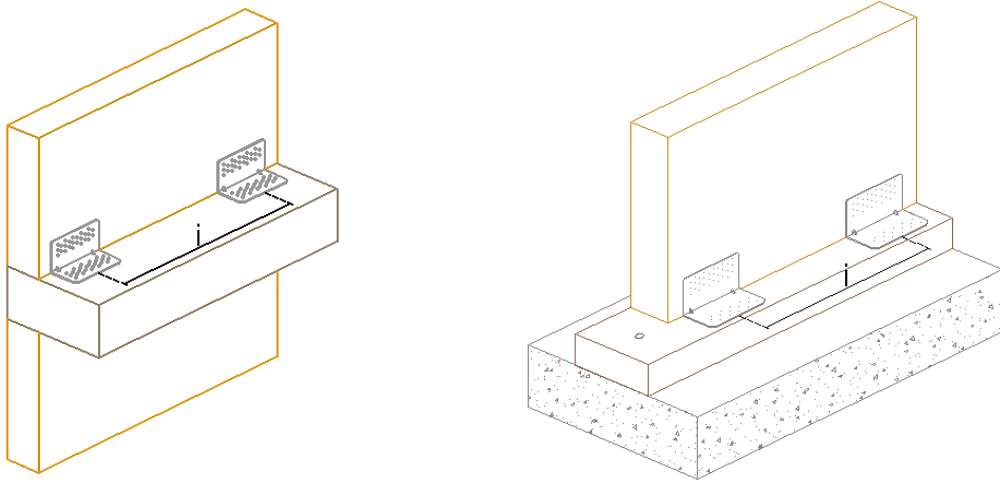


Figure: graphical representations of the timber to timber shear connection with angle brackets

Connection name	Connection position	Manufacturer	Description	Number of fasteners on the vertical plate	Number of fasteners on the horizontal plate	Fasteners typology vertical plate	Fasteners typology horizontal plate	Sides number	Angle brackets spacing i [mm]
Ligação shear superior	Upper level	Borga Italia	SIM ANGLE BRACKET ABR 255 W/RIB	52	41	Anker nail - CNA 4,0 x 60	Anker nail - CNA 4,0 x 60	2	200

Combinations of actions

For each critical load case, the design values of the effects of actions shall be determined by combining the values of actions that are considered to occur simultaneously.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} =$$

$$= \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinations of actions for seismic design situations:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} =$$

$$= G_1 + G_2 + A_{Ed} + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

being

G_1 permanent actions: self weight

G_2 permanent actions

Q_1 characteristic value of the main variable action

Q_{ki} characteristic value of the i-th variable action

γ_{G1} is the partial factor for the self-weight action

γ_{G2} is the partial factor for the permanent actions action

When permanent actions, as well as a portion of those, are fully defined in design process, it is possible to adopt the same partial factor employed for self-weight actions.

The following are the values of the combination coefficients used.

Action name	Description	Duration	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Q cat.A	Category A: domestic, residential areas	Medium-term	0.7	0.5	0.3
Q cat.B	Category B: office areas	Medium-term	0.7	0.5	0.3
Q cat.C	Category C: congregation areas	Medium-term	0.7	0.7	0.6
Q cat.D	Category D: shopping areas	Medium-term	0.7	0.7	0.6
Q cat.E	Category E: storage areas	Long-term	1	0.9	0.8
Q cat.F	Category F: traffic area, vehicle weight ≤ 30 kN	Long-term	0.7	0.7	0.6
Q cat.G	Category G: traffic area, vehicle weight ≤ 160 kN	Long-term	0.7	0.5	0.3
Q cat.H	Category H: roofs	Medium-term	0	0	0
Q cat.I-A	Category I-A: practicable roofs of category A	Medium-term	0.7	0.5	0.3
Q cat.I-B	Category I-B: practicable roofs of category B	Medium-term	0.7	0.5	0.3
Q cat.I-C	Category I-C: practicable roofs of category C	Medium-term	0.7	0.7	0.6
Q cat.I-D	Category I-D: practicable roofs of category D	Medium-term	0.7	0.7	0.6
Q cat.I-E	Category I-E: practicable roofs of category E	Long-term	1	0.9	0.8
Ortho wind	Wind load	Instantaneous	0.6	0.2	0
Snow	Snow load (altitude ≤ 1000 mamsl)	Short-term	0.5	0.2	0
Snow	Snow load (altitude > 1000 mamsl)	Medium-term	0.7	0.5	0.2

Combinations of actions used

Vertical ULS loads combinations

The following table shows the ULS load combinations relevant for verifications in conditions of vertical load. The coefficient values listed correspond to the product of the partial safety factor γ_j and the combination factors ψ_{0j} .

The action of the wind is schematized with a uniform load orthogonal to each external wall.

Name	Duration	G1	G2	Q cat.A	Ortho wind	Wind X	Wind Y	Dynamic SLV X	Dynamic SLV Y	Dynamic SLD X	Dynamic SLD Y
ULS 1	Permanent	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ULS 2	Medium-term	1	1	1.5	0	0	0	0	0	0	0
ULS 3	Instantaneous	1	1	1.5	0.9	0	0	0	0	0	0
ULS 4	Instantaneous	1	1	0	1.5	0	0	0	0	0	0
ULS 5	Instantaneous	1	1	1.05	1.5	0	0	0	0	0	0
ULS 6	Permanent	1	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0
ULS 7	Medium-term	1	1.35	1.5	0	0	0	0	0	0	0
ULS 8	Instantaneous	1	1.35	1.5	0.9	0	0	0	0	0	0
ULS 9	Instantaneous	1	1.35	0	1.5	0	0	0	0	0	0
ULS 10	Instantaneous	1	1.35	1.05	1.5	0	0	0	0	0	0
ULS 11	Permanent	1.35	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ULS 12	Medium-term	1.35	1	1.5	0	0	0	0	0	0	0
ULS 13	Instantaneous	1.35	1	1.5	0.9	0	0	0	0	0	0
ULS 14	Instantaneous	1.35	1	0	1.5	0	0	0	0	0	0
ULS 15	Instantaneous	1.35	1	1.05	1.5	0	0	0	0	0	0
ULS 16	Permanent	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0
ULS 17	Medium-term	1.35	1.35	1.5	0	0	0	0	0	0	0
ULS 18	Instantaneous	1.35	1.35	1.5	0.9	0	0	0	0	0	0
ULS 19	Instantaneous	1.35	1.35	0	1.5	0	0	0	0	0	0
ULS 20	Instantaneous	1.35	1.35	1.05	1.5	0	0	0	0	0	0

Horizontal ULS loads combinations

The following table shows the ULS load combinations relevant for verifications in conditions of vertical load. The coefficient values listed correspond to the product of the partial safety factor γ_j and the combination factors ψ_{0j} .

The action of the wind is schematized with a uniform load orthogonal to each external wall and it acts separately in the directions x, -x, y, -y.

Name	Duration	G1	G2	Q cat.A	Ortho wind	Wind X	Wind Y	Dynamic SLV X	Dynamic SLV Y	Dynamic SLD X	Dynamic SLD Y
Horizontal ULS 1	Instantaneous	1	1	0	0	1.5	0	0	0	0	0
Horizontal ULS 2	Instantaneous	1	1	0	0	0	1.5	0	0	0	0
Horizontal ULS 3	Instantaneous	1	1	0	0	-1.5	0	0	0	0	0
Horizontal ULS 4	Instantaneous	1	1	0	0	0	-1.5	0	0	0	0
Horizontal ULS 5	Instantaneous	1.35	1.35	1.05	0	1.5	0	0	0	0	0
Horizontal ULS 6	Instantaneous	1.35	1.35	1.05	0	0	1.5	0	0	0	0
Horizontal ULS 7	Instantaneous	1.35	1.35	1.05	0	-1.5	0	0	0	0	0
Horizontal ULS 8	Instantaneous	1.35	1.35	1.05	0	0	-1.5	0	0	0	0

Combination of actions for rare SLS

Name	Duration	G1	G2	Q cat.A	Ortho wind	Wind X	Wind Y	Dynamic SLV X	Dynamic SLV Y	Dynamic SLD X	Dynamic SLD Y
SLS characteristic 1	Permanent	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
SLS characteristic 2	Medium-term	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
SLS characteristic 3	Instantaneous	1	1	1	0.6	0	0	0	0	0	0
SLS characteristic 4	Instantaneous	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
SLS characteristic 5	Instantaneous	1	1	0.7	1	0	0	0	0	0	0

Seismic load combinations

The action effects due to the combination of the horizontal components of the seismic action are computed using the following combinations:

$$E_{Edx} + 0,3 \cdot E_{Edy}$$

$$0,3 \cdot E_{Edx} + E_{Edy}$$

Combinations of actions for Damage Limit State (SLD)

Name	Duration	G1	G2	Q cat.A	Ortho wind	Wind X	Wind Y	Dynamic SLV X	Dynamic SLV Y	Dynamic SLD X	Dynamic SLD Y
Dynamic SLD 1 ex+ ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	1	0.3
Dynamic SLD 1 ex+ ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	1	0.3
Dynamic SLD 1 ex- ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	1	0.3
Dynamic SLD 1 ex- ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	1	0.3
Dynamic SLD 2 ex+ ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	1	-0.3
Dynamic SLD 2 ex+ ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	1	-0.3
Dynamic SLD 2 ex- ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	1	-0.3
Dynamic SLD 2 ex- ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	1	-0.3
Dynamic SLD 3 ex+ ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	-1	0.3
Dynamic SLD 3 ex+ ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	-1	0.3
Dynamic SLD 3 ex- ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	-1	0.3
Dynamic SLD 3 ex- ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	-1	0.3
Dynamic SLD 4 ex+ ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	-1	-0.3
Dynamic SLD 4 ex+ ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	-1	-0.3
Dynamic SLD 4 ex- ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	-1	-0.3
Dynamic SLD 4 ex- ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	-1	-0.3
Dynamic SLD 5 ex+ ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0.3	1
Dynamic SLD 5 ex+ ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0.3	1
Dynamic SLD 5 ex- ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0.3	1
Dynamic SLD 5 ex- ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0.3	1
Dynamic SLD 6 ex+ ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0.3	-1
Dynamic SLD 6 ex+ ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0.3	-1
Dynamic SLD 6 ex- ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0.3	-1
Dynamic SLD 6 ex- ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0.3	-1
Dynamic SLD 7 ex+ ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	-0.3	1
Dynamic	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	-0.3	1

SLD 7 ex+ ey-												
Dynamic SLD 7 ex+ ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0	-0.3	1
Dynamic SLD 7 ex+ ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0	-0.3	1
Dynamic SLD 8 ex+ ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0	-0.3	-1
Dynamic SLD 8 ex+ ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0	-0.3	-1
Dynamic SLD 8 ex- ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0	-0.3	-1
Dynamic SLD 8 ex- ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0	-0.3	-1

Combinations of actions for Life Safety Limit State (SLV)

Name	Duration	G1	G2	Q cat.A	Ortho wind	Wind X	Wind Y	Dynamic SLV X	Dynamic SLV Y	Dynamic SLD X	Dynamic SLD Y
Dynamic SLV 1 ex+ ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	1	0.3	0	0
Dynamic SLV 1 ex+ ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	1	0.3	0	0
Dynamic SLV 1 ex- ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	1	0.3	0	0
Dynamic SLV 1 ex- ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	1	0.3	0	0
Dynamic SLV 2 ex+ ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	1	-0.3	0	0
Dynamic SLV 2 ex+ ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	1	-0.3	0	0
Dynamic SLV 2 ex- ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	1	-0.3	0	0
Dynamic SLV 2 ex- ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	1	-0.3	0	0
Dynamic SLV 3 ex+ ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-1	0.3	0	0
Dynamic SLV 3 ex+ ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-1	0.3	0	0
Dynamic SLV 3 ex- ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-1	0.3	0	0
Dynamic SLV 3 ex- ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-1	0.3	0	0
Dynamic SLV 4 ex+ ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-1	-0.3	0	0
Dynamic SLV 4 ex+ ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-1	-0.3	0	0
Dynamic SLV 4 ex- ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-1	-0.3	0	0
Dynamic SLV 4 ex- ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-1	-0.3	0	0
Dynamic SLV 5 ex+ ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0.3	1	0	0
Dynamic SLV 5 ex+ ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0.3	1	0	0
Dynamic SLV 5 ex- ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0.3	1	0	0
Dynamic SLV 5 ex- ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0.3	1	0	0
Dynamic SLV 6 ex+ ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0.3	-1	0	0
Dynamic SLV 6 ex+ ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0.3	-1	0	0
Dynamic SLV 6 ex- ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0.3	-1	0	0

Dynamic SLV 6 ex-ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	0.3	-1	0	0
Dynamic SLV 7 ex+ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-0.3	1	0	0
Dynamic SLV 7 ex+ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-0.3	1	0	0
Dynamic SLV 7 ex-ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-0.3	1	0	0
Dynamic SLV 7 ex-ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-0.3	1	0	0
Dynamic SLV 8 ex+ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-0.3	-1	0	0
Dynamic SLV 8 ex+ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-0.3	-1	0	0
Dynamic SLV 8 ex-ey+	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-0.3	-1	0	0
Dynamic SLV 8 ex-ey-	Instantaneous	1	1	0.3	0	0	0	-0.3	-1	0	0

Horizontal actions

Modal analysis

The modal analysis is used to determine the vibration modes of the structure, useful to understand the seismic behaviour of the building and to proceed with the linear dynamic analysis.

The modal analysis involves the solution of the generalized eigenvalue problem:

$$[K - \Omega^2 M] \Phi = 0$$

where K is the stiffness matrix, M the mass matrix, Ω^2 is the diagonal matrix of the eigenvalues and Φ is the corresponding matrix of eigenvectors or modal shapes (normalized with respect to the mass matrix); the seismic masses of the diaphragms are calculated with the following combination of vertical loads:

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{Ei} \cdot Q_{ki} = G_1 + G_2 + \sum \psi_{Ei} \cdot Q_{ki}$$

where ψ_{Ei} is the combination coefficient for variable action i . The combination coefficients shall be computed from the following expression:

$$\psi_{Ei} = \varphi \cdot \psi_{2i}$$

Type of variable action	Storey	φ
Categories A-C (as defined in EN 1991-1-1)	Roof Storeys with correlated occupancies Independently occupied storeys	1 0.8 0.5
Categories D-F (as defined in EN 1991-1-1)		1

The base shear forces for DLS and ULS and the and the respective acceleration values are given below.

The eigenvalue, obtained by the solution of the generalized eigenvalue problem, is the square of the circular frequency ω related to the period, T , and to the frequency, f , by the following equations:

$$T = \frac{1}{f} \text{ and } f = \frac{\omega}{2\pi}$$

The participating mass ratio for the mode i -th, corresponding to an acceleration in the global axis X and Y and to a rotational acceleration around the vertical axis Z, is given by:

$$M_x^i = \frac{m_x^i}{\sum m_{x,j}} \text{ [%]}$$

$$M_y^i = \frac{m_y^i}{\sum m_{y,j}} \text{ [%]}$$

$$M_z^i = \frac{m_z^i}{\sum I_{z,j}} \text{ [%]}$$

where

$$m_x^i = \frac{([\Phi^i]^T M R_x)^2}{[\Phi^i]^T M \Phi^i}$$

$$m_y^i = \frac{([\Phi^i]^T M R_y)^2}{[\Phi^i]^T M \Phi^i}$$

$$m_z^i = \frac{([\Phi^i]^T M R_z)^2}{[\Phi^i]^T M \Phi^i}$$

and where $\sum m_{x,j}$, $\sum m_{y,j}$ and $\sum I_{z,j}$ are the total masses acting in the axis X, Y and the total rotational inertia about the axis Z of the unrestrained j -th degrees of freedom.

Mode	Period [s]	Frequency [Hz]	M _x [%]	Sum M _x [%]	M _y [%]	Sum M _y [%]	M _z [%]	Sum M _z [%]
Mode 1	0.13	7.81	0.00	0.00	52.82	52.82	2.22	2.22
Mode 2	0.05	18.60	0.04	0.04	0.52	53.34	57.30	59.51
Mode 3	0.04	22.86	57.32	57.35	0.00	53.35	0.04	59.55
Mode 4	0.04	25.62	0.00	57.36	39.98	93.32	2.76	62.32
Mode 5	0.01	84.13	0.00	57.36	6.68	100.00	37.68	100.00
Mode 6	0.01	90.61	42.64	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00

Dynamic linear analysis

The dynamic linear analysis consists of:

- the calculation of the seismic effects (the seismic action is represented by the design response spectrum), of each of the vibration modes calculated in the modal analysis;

- combination of these effects.

The seismic effects of the structural model are obtained by the application of the following external loads:

$$F_x^i = \Gamma_x^i S_d(T_i) M \Phi^i$$

and

$$F_y^i = \Gamma_y^i S_d(T_i) M \Phi^i$$

where

F_x^i and F_y^i are the external loads of the i -th vibration mode due to seismic action along X and Y

$S_d(T_i)$ is the spectrum value corresponding to the i -th period

Φ^i is the i -th modal shape

Γ_x^i and Γ_y^i are the participating modal factor of the i -th mode given by:

$$\Gamma_x^i = \frac{[\Phi^i]^T M R_x}{[\Phi^i]^T M \Phi^i} \text{ and } \Gamma_y^i = \frac{[\Phi^i]^T M R_y}{[\Phi^i]^T M \Phi^i}$$

The effects for a given direction of acceleration (along X or Y) and for each of the vibration modes are combined with the Complete Quadratic Combination technique defined as:

$$E = \left(\sum_j \sum_i \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j \right)^{1/2}$$

where

E_j is the effect of the j -th vibration mode;

ρ_{ij} is the correlation coefficient of the i -th mode and the j -th mode, given by:

$$\rho_{ij} = \frac{8 \xi^2 \beta_{ij}^{3/2}}{(1 + \beta_{ij})[(1 - \beta_{ij})]}$$

ξ is the damping ratio in the i -th and j -th modes;

$$\beta_{ij} = T_j/T_i.$$

The following table provides the diaphragms properties.

Diaphragm	Height above the base of the timber structure [m]	xG [m]	yG [m]	Accidental eccentricity ex [m]	Accidental eccentricity ey [m]	Mass i [kg]
1	0.20	6.75	3.30	0.30	0.12	6818
2	3.20	6.60	3.32	0.30	0.12	6822

Dynamic SLD X	Wall 221	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	N/D
Dynamic SLD X	Wall 227	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	N/D
Dynamic SLD X	Wall 232	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	N/D
Dynamic SLD Y	Wall 30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 212	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 214	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 215	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Wall 221	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	N/D
Dynamic SLD Y	Wall 227	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	N/D
Dynamic SLD Y	Wall 232	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	N/D

Floors

Floor name: Floor ID

V2: Maximum shear stress along the local axis 2 for the most stressed element of the floor

M3-3: Maximum bending moment around local axis 3 for the most stressed element of the floor

W_{ist}: Maximum deformation for the most stressed element of the floor

Load	Floor name	V2 [kN]	M3-3 [kNm]	W _{ist} [mm]
G1	Piso 1	1.27	0.60	0.32
G1	Floor 2	1.27	0.60	0.32
G2	Piso 1	3.62	1.73	0.92
G2	Floor 2	3.62	1.73	0.92

Q cat.A	Piso 1	3.62	1.73	0.92
Q cat.A	Floor 2	3.62	1.73	0.92
Ortho wind	Piso 1	0.00	0.00	0.00
Ortho wind	Floor 2	0.00	0.00	0.00
Wind X	Piso 1	0.00	0.00	0.00
Wind X	Floor 2	0.00	0.00	0.00
Wind Y	Piso 1	0.00	0.00	0.00
Wind Y	Floor 2	0.00	0.00	0.00
Static SLV X	Piso 1	0.00	0.00	0.00
Static SLV X	Floor 2	0.00	0.00	0.00
Static SLV Y	Piso 1	0.00	0.00	0.00
Static SLV Y	Floor 2	0.00	0.00	0.00
Static SLD X	Piso 1	0.00	0.00	0.00
Static SLD X	Floor 2	0.00	0.00	0.00
Static SLD Y	Piso 1	0.00	0.00	0.00
Static SLD Y	Floor 2	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLV X	Piso 1	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLV X	Floor 2	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLV Y	Piso 1	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLV Y	Floor 2	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD X	Piso 1	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD X	Floor 2	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Piso 1	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Floor 2	0.00	0.00	0.00

Beams

Beam name: Beam ID

V2: Maximum shear stress along the local axis 2

M3-3: Maximum bending moment around local axis 3

W_{ist}: Maximum deformation for the most stressed element of the floor

Load	Beam name	V2 [kN]	M3-3 [kNm]	W _{ist} [mm]
G1	Beam 157	2.73	1.64	0.98
G1	Beam 158	2.74	1.65	0.98
G1	Beam 159	2.76	1.66	0.99
G1	Beam 160	2.71	1.63	0.97
G2	Beam 157	7.26	4.35	2.60
G2	Beam 158	7.27	4.39	2.61
G2	Beam 159	7.33	4.42	2.64
G2	Beam 160	7.20	4.33	2.58
Q cat.A	Beam 157	7.26	4.35	2.60
Q cat.A	Beam 158	7.27	4.39	2.61
Q cat.A	Beam 159	7.33	4.42	2.64
Q cat.A	Beam 160	7.20	4.33	2.58
Ortho wind	Beam 157	0.00	0.00	0.00
Ortho wind	Beam 158	0.00	0.00	0.00
Ortho wind	Beam 159	0.00	0.00	0.00
Ortho wind	Beam 160	0.00	0.00	0.00
Wind X	Beam 157	0.00	0.00	0.00
Wind X	Beam 158	0.00	0.00	0.00
Wind X	Beam 159	0.00	0.00	0.00
Wind X	Beam 160	0.00	0.00	0.00
Wind Y	Beam 157	0.00	0.00	0.00
Wind Y	Beam 158	0.00	0.00	0.00
Wind Y	Beam 159	0.00	0.00	0.00
Wind Y	Beam 160	0.00	0.00	0.00
Static SLV X	Beam 157	0.00	0.00	0.00
Static SLV X	Beam 158	0.00	0.00	0.00

Static SLV X	Beam 159	0.00	0.00	0.00
Static SLV X	Beam 160	0.00	0.00	0.00
Static SLV Y	Beam 157	0.00	0.00	0.00
Static SLV Y	Beam 158	0.00	0.00	0.00
Static SLV Y	Beam 159	0.00	0.00	0.00
Static SLV Y	Beam 160	0.00	0.00	0.00
Static SLD X	Beam 157	0.00	0.00	0.00
Static SLD X	Beam 158	0.00	0.00	0.00
Static SLD X	Beam 159	0.00	0.00	0.00
Static SLD X	Beam 160	0.00	0.00	0.00
Static SLD Y	Beam 157	0.00	0.00	0.00
Static SLD Y	Beam 158	0.00	0.00	0.00
Static SLD Y	Beam 159	0.00	0.00	0.00
Static SLD Y	Beam 160	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLV X	Beam 157	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLV X	Beam 158	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLV X	Beam 159	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLV X	Beam 160	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLV Y	Beam 157	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLV Y	Beam 158	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLV Y	Beam 159	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLV Y	Beam 160	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD X	Beam 157	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD X	Beam 158	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD X	Beam 159	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD X	Beam 160	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Beam 157	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Beam 158	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Beam 159	0.00	0.00	0.00
Dynamic SLD Y	Beam 160	0.00	0.00	0.00

Forces and moments acting at the base of the structure

In this chapter are reported the values of actions acting at the base of the walls and columns of the ground floor. With regard to the walls the first row of the table shows the values of the actions related to the ULS combination that maximizes the axial force, the second row shows the values of the actions related to the seismic or horizontal ULS combination that maximizes the moment acting in the plane of the wall M3-3 and the shear force V2 (also acting in the plane of the wall) and that, at the same time, minimizes the axial force N. Following is instead reported the actions at the foot of the walls associated with the different loads considered individually.

Walls

- N: Total axial force
- V2: Shear force (in-plane)
- V3: Shear force (out-of-plane)
- M2-2: Bending moment (out-of-plane)
- M3-3: Bending moment (in-plane)

Wall name	Length [m]	Load / Comb.	N [kN]	V2 [kN]	V3 [kN]	M2-2 [kNm]	M3-3 [kNm]
Wall 30	0.60	ULS 19	2.85	0.00	0.10	0.00	0.00
		Horizontal ULS 4	2.11	2.23	0.00	0.00	1.85
		G1	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00
		G2	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00
		Q cat.A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ortho wind	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00

		Dynamic SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wall 49	0.60	ULS 19	2.85	0.00	0.10	0.00	0.00
		Horizontal ULS 4	2.11	2.23	0.00	0.00	1.85
		G1	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00
		G2	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00
		Q cat.A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ortho wind	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
		Wind X	0.00	0.31	0.00	0.00	0.52
		Wind Y	0.00	1.49	0.00	0.00	1.23
		Static SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wall 50	0.60	ULS 17	27.43	0.00	0.00	0.00	0.00
		Horizontal ULS 4	12.19	2.23	0.00	0.00	1.85
		G1	3.72	0.00	0.00	0.00	0.00
		G2	8.47	0.00	0.00	0.00	0.00
		Q cat.A	7.32	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ortho wind	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
		Wind X	0.00	0.31	0.00	0.00	0.52
		Wind Y	0.00	1.49	0.00	0.00	1.23
		Static SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wall 51	0.60	ULS 17	27.43	0.00	0.00	0.00	0.00
		Horizontal ULS 4	12.19	2.23	0.00	0.00	1.85
		G1	3.72	0.00	0.00	0.00	0.00
		G2	8.47	0.00	0.00	0.00	0.00
		Q cat.A	7.32	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ortho wind	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
		Wind X	0.00	0.31	0.00	0.00	0.52
		Wind Y	0.00	1.49	0.00	0.00	1.23
		Static SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wall 52	0.60	ULS 19	2.85	0.00	0.10	0.00	0.00
		Horizontal ULS 4	2.11	2.23	0.00	0.00	1.85
		G1	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00
		G2	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00
		Q cat.A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ortho wind	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
		Wind X	0.00	0.31	0.00	0.00	0.52
		Wind Y	0.00	1.49	0.00	0.00	1.23
		Static SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wall 58	0.60	ULS 19	2.51	0.00	0.10	0.00	0.00
		Horizontal ULS 4	1.86	5.70	0.00	0.00	14.18
		G1	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00
		G2	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00
		Q cat.A	-0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ortho wind	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
		Wind X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Wind Y	0.00	3.80	0.00	0.00	9.45
		Static SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

		Dynamic SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wall 59	0.60	ULS 19	1.16	0.00	0.10	0.00	0.00
		Horizontal ULS 4	0.86	5.70	0.00	0.00	1.14
		G1	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00
		G2	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00
		Q cat.A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ortho wind	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
		Wind X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Wind Y	0.00	3.80	0.00	0.00	0.76
		Static SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wall 60	0.60	ULS 19	0.96	0.00	0.10	0.00	0.00
		Horizontal ULS 4	0.71	5.70	0.00	0.00	1.14
		G1	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
		G2	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
		Q cat.A	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ortho wind	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
		Wind X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Wind Y	0.00	3.80	0.00	0.00	0.76
		Static SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wall 61	0.60	ULS 19	2.71	0.00	0.10	0.00	0.00
		Horizontal ULS 4	2.01	5.70	0.00	0.00	14.18
		G1	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00
		G2	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00
		Q cat.A	-0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ortho wind	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
		Wind X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Wind Y	0.00	3.80	0.00	0.00	9.45
		Static SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wall 215	0.60	ULS 19	2.78	0.00	1.54	0.00	0.00
		Horizontal ULS 4	2.06	4.95	0.00	0.00	15.84
		G1	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00
		G2	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00
		Q cat.A	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ortho wind	0.00	0.00	1.03	0.00	0.00
		Wind X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Wind Y	0.00	3.30	0.00	0.00	10.56
		Static SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wall 221	0.80	ULS 19	3.58	0.00	2.05	0.00	0.00
		Dynamic SLV 2 ex- ey-	2.61	0.00	0.00	0.00	0.00
		G1	1.24	0.00	0.00	0.00	0.00
		G2	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00
		Q cat.A	-0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ortho wind	0.00	0.00	1.37	0.00	0.00
		Wind X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Wind Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Wall 227	1.00	ULS 19	0.12	0.00	0.16	0.00	0.00
		Horizontal ULS 5	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
		G1	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
		G2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
		Q cat.A	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
		Ortho wind	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00
		Wind X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Wind Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Static SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLV Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Dynamic SLD Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Design of the structural elements

CLT floors

Calculation model

The calculation model adopted for the design of CLT in bending out-of-plane is that of mechanically jointed beams with deformable connection in accordance with Appendix B of EN 1995-1-1. The shear flexibility of the transverse layers is considered using the γ -method (gamma): namely with Möhler theory for CLT panel having up to 3 layers oriented in the direction of calculation and with Shelling theory for CLT panel having more than 3 layers oriented in the direction of calculation.

The effective bending stiffness is taken as:

$$EJ_{eff} = \sum_{i=1}^n (E_i J_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$

$$\gamma_i = \left[1 + \frac{\pi^2 E_i A_i}{G_R \cdot \frac{b}{d} \cdot l_{ref}^2} \right]^{-1}$$

where:

J_i is the moment of inertia of layer i in reference to its neutral axis;

A_i is the cross-sectional area of layer i ;

a_i is the distance between the centre of gravity of layer i and centre of gravity of the CLT element;

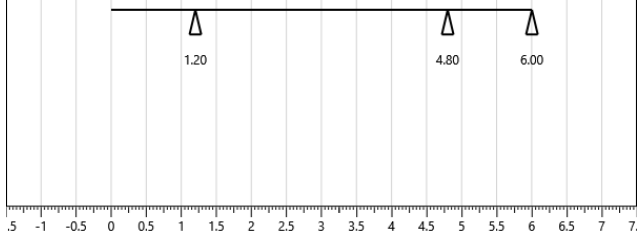
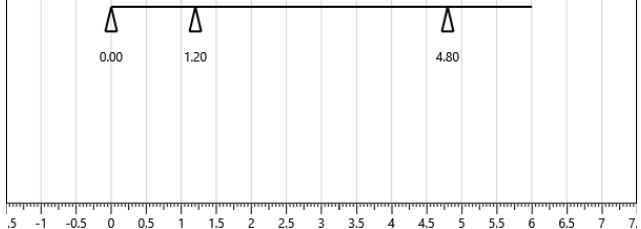
l_{ref} is the reference length of the span;

G_R is the rolling shear modulus (mean value).

The reference length of the spans (l_{ref}) is taken, depending on the static scheme, as reported in the following table.

Structural scheme	Reference length of the span
Simply supported beam	$l_{ref} = l$
Span of a continuous beam	$l_{ref} = 0.8 l$
Internal support of a continuous beam	$l_{ref} = 0.8 l_{min}$
Cantilever	$l_{ref} = 2 l$

The following table shows, for each floor and relatively to the different spans, the values of the reference lengths of the spans, the effective moment of inertia of the cross-sections of the CLT floor and the structural scheme adopted.

Floor name	Calculation width of the strip of floor [m]	Reference length l_{ref} [m]	Jeff [mm ⁴]	Structural scheme
Piso 1	1	2.40 2.88 0.96	1.619E8 1.741E8 7.691E7	
Floor 2	1	0.96 2.88 2.40	7.685E7 1.741E8 1.619E8	

Bending strength

The checks are conducted according to § 6.1.6 of EN 1995-1-1. The following expression shall be satisfied:

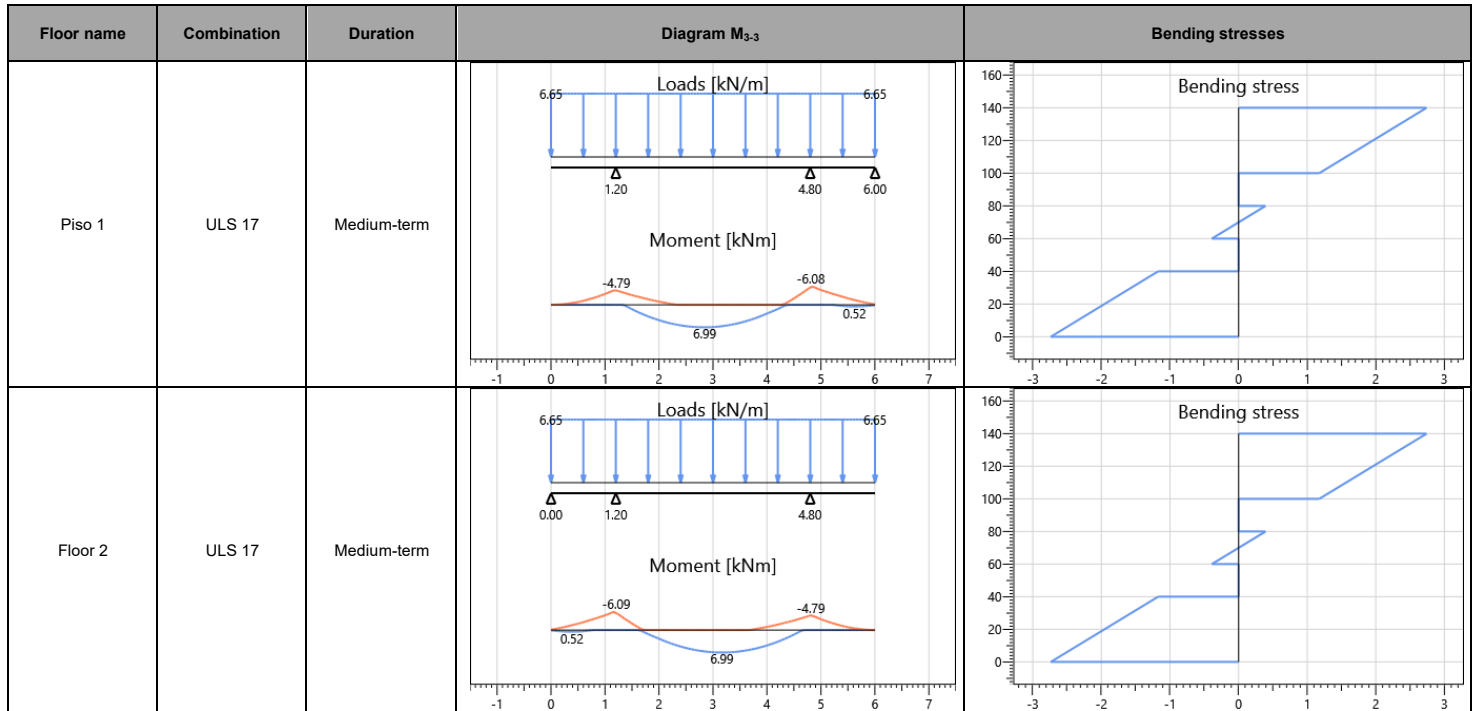
$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

being

$\sigma_{m,d}$ is the design bending stress;

$f_{m,d}$ is the design bending strength.

The following table illustrates the structural schemes and the envelopes of the diagram of the bending moment for the part of each floor with the most sever checks.



The checks are summarized below. The values resulting from the calculations, relating to each verification, are reported in the form of a percentage.

Floor name	Section	M ₃₋₃ [kNm]	J _{eff} [mm ⁴]	Comb.	Service class	k _{mod}	γ _M	f _{m,d} [MPa]	σ _{m,d} [MPa]	Check
Piso 1	CLT floor 2	-5.79	76908879	ULS 17	1	0.8	1.25	15.36	2.74	18%
Floor 2	CLT floor 2	-5.78	76848142	ULS 17	1	0.8	1.25	15.36	2.74	18%

Shear strength

Shear strength of the layers parallel to the calculation direction

The checks are conducted according to § 6.1.7 of EN 1995-1-1. The following expression shall be satisfied:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

where

$\tau_{v,d}$ is the design shear stress;

$f_{v,d}$ is the design shear strength for the actual condition.

The maximum design shear stress in the longitudinal layers can be evaluated using the following expression:

$$\tau_{v,d} = \frac{V_d \cdot S_{max}}{J_{eff} \cdot b}$$

where:

V_d is the total shear force at the location in question;

S_{max} is the statical moment of area;

J_{eff} is the effective moment of inertia of the CLT element cross section;

b is the width of the CLT element cross section ($k_{cr} = 1$).

Rolling shear strength of the transversal layers

The checks are conducted according to § 6.1.7 of EN 1995-1-1. The following expression shall be satisfied:

$$\frac{\tau_{R,d}}{f_{v,R,d}} \leq 1$$

being:

$\tau_{R,d}$ the design rolling shear stress;

$f_{v,R,d}$ the design shear strength.

The maximum design shear stress in the transversal layers can be evaluated using the following expression:

$$\tau_{R,d} = \frac{V_d \cdot S_{R,max}}{J_{eff} \cdot b}$$

where:

V_d is the total shear force at the location in question;

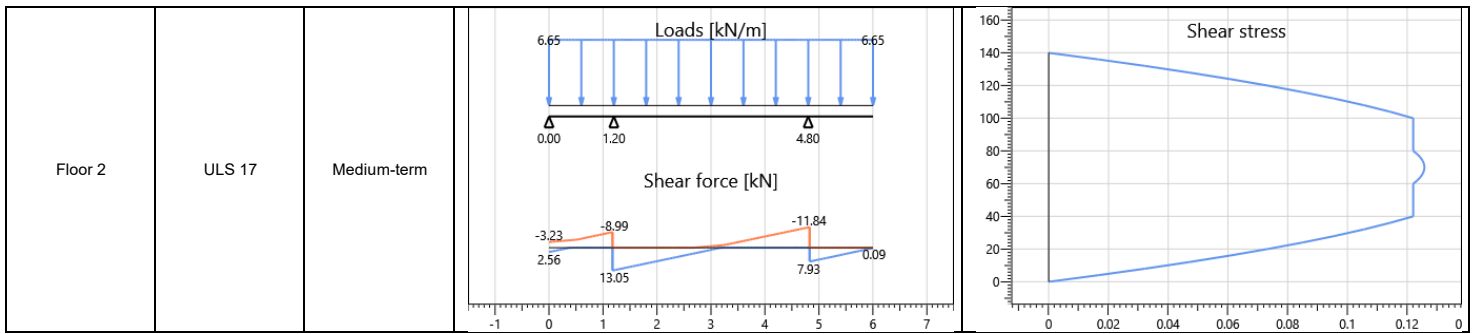
$S_{R,max}$ is the statical moment of area;

J_{eff} is the effective moment of inertia of the CLT element cross section;

b is the width of the CLT element cross section ($k_{cr} = 1$).

The following table illustrates the structural schemes and the envelopes of the diagram of the shear force for the part of each floor with the most sever checks.

Floor name	Combination	Duration	Diagram V_2	Shear stresses
Piso 1	ULS 17	Medium-term		



The checks are summarized below. The values resulting from the calculations, relating to each verification, are reported in the form of a percentage.

Floor name	Cross section	V_2 [kN]	J_{eff} [mm ⁴]	Comb.	Service Class	k_{mod}	γ_M	$f_{v,d}$ [MPa]	$\tau_{v,d}$ [MPa]	Check	$f_{R,d}$ [MPa]	$\tau_{R,d}$ [MPa]	Check
Piso 1	CLT floor 2	-13.04	174138391	ULS 17	1	0.8	1.25	2.56	0.13	5%	0.67	0.12	18%
Floor 2	CLT floor 2	13.05	174138391	ULS 17	1	0.8	1.25	2.56	0.13	5%	0.67	0.12	18%

Floors deflections (SLS)

The deflection checks are carried out according to § 2.2.3 of EN 1995-1-1.

The net deflection below a straight line between the supports, $w_{net,fin}$, is taken as:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c$$

where

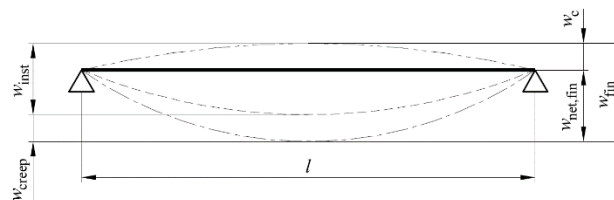
$w_{net,fin}$ is the net final deflection;

w_{inst} is the instantaneous deflection;

w_{creep} is the creep deflection;

w_c is the precamber (if applied) ;

w_{fin} is the final deflection.



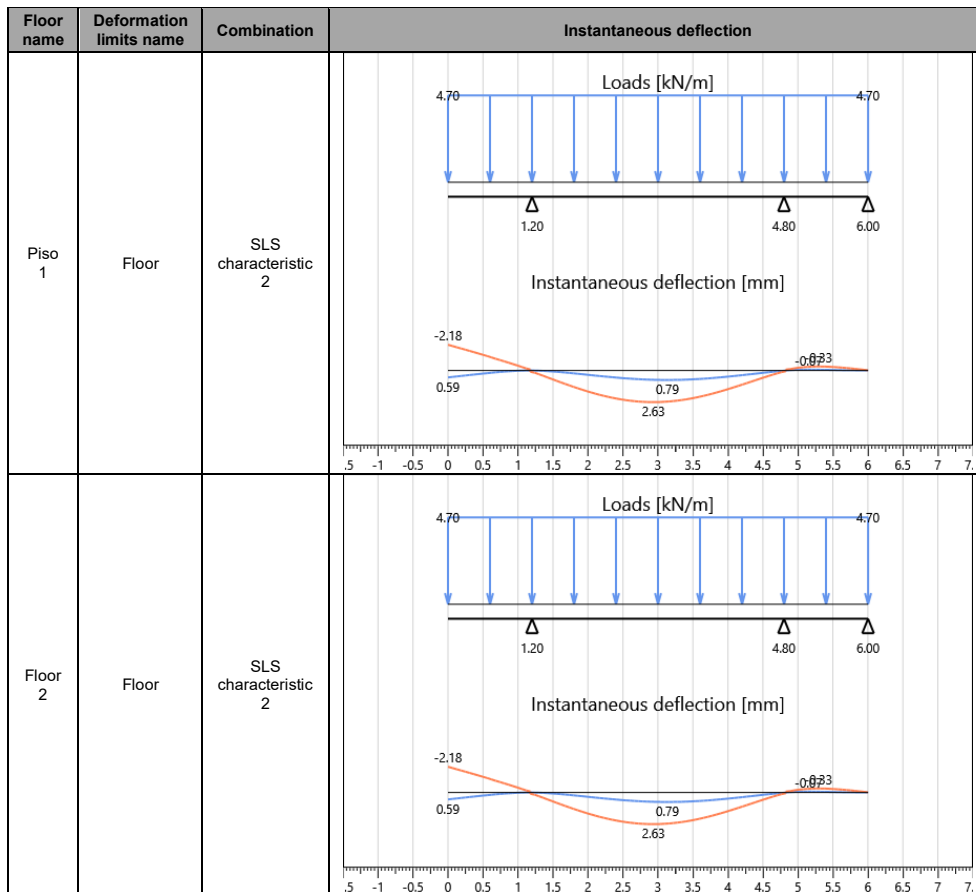
The limiting values for deflections of floors are assumed as shown in the following table.

Deformation limits name	$w_{inst, span}$	$w_{net, fin, span}$	$w_{inst, overhang}$	$w_{net, fin, overhang}$	Neglect overhang check for deformation < 0
Floor	$l/300$	$l/250$	$l/150$	$l/125$	Yes

Instantaneous deflection

The instantaneous deflection w_{inst} is calculated for the characteristic (rare) combination of actions.

The following table shows the deformation of each floor (relative to the element in which the deformation checks are the most severe).



The table below shows the instantaneous deflection checks of the floor elements.

Floor name	Section	Combination	Most restrictive check	w_{inst} [mm]	w_{inst} limit [mm]	Deflection limit	Check
Piso 1	CLT floor 2	SLS characteristic 2	Internal span	2.63	12.00	l/300	22%
Floor 2	CLT floor 2	SLS characteristic 2	Internal span	2.63	12.00	l/300	22%

Final deflection

For structures consisting of members, components and connections with the same creep behaviour and under the assumption of a linear relationship between the actions and the corresponding deformations the final deformation, w_{fin} , may be taken as:

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + \sum w_{fin,Qi}$$

where:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def})$$

for a permanent action, G

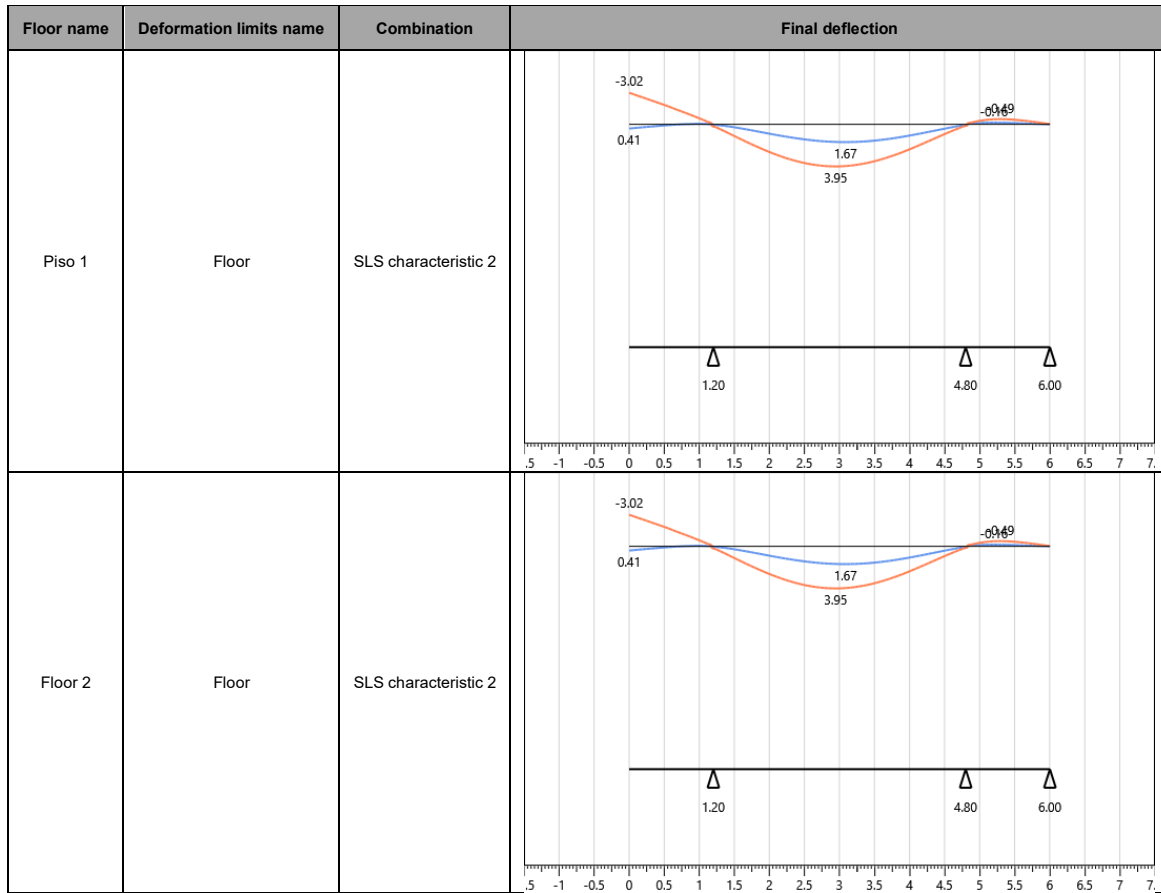
$$w_{fin,Q,1} = w_{inst,Q,1} \cdot (1 + \Psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

for the leading variable action, Q₁

$$w_{fin,Q,i} = w_{inst,Q,i} \cdot (\Psi_{0,i} + \Psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

for accompanying variable actions, Q_i (i>1)

The following table shows the deformation of each floor (relative to the element in which the deformation checks are the most severe).



The table below shows the final deflection checks of the floor elements.

Floor name	Section	Combination	Service class	k_{def}	Most restrictive check	w_{fin} [mm]	w_{fin} limit [mm]	Deflection limit	Check
Piso 1	CLT floor 2	SLS characteristic 2	1	0.8	Internal span	3.95	14.40	$l/250$	27%
Floor 2	CLT floor 2	SLS characteristic 2	1	0.8	Internal span	3.95	14.40	$l/250$	27%

Floors vibrations (SLS)

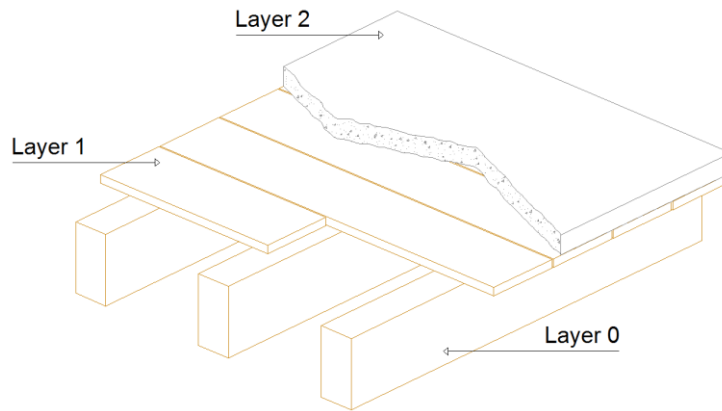
Vibrations checks on floors are carried out according to § 7.3 of EN 1995-1-1. In case of floors with a fundamental frequency greater or equal than 8 Hz, it will be evaluated the maximum value of vertical deflection induced by a vertical, static and concentrated force F acting on every point of the slab and the unit impulse velocity induced by an impulsive load acting in the point of the floor that provides the maximum response. In case of floors with a fundamental frequency lower than 8 Hz, it will be evaluated the maximum value of vertical acceleration induced by a dynamic load.

Stiffness of elements

Stiffness values for floor elements are taken as:

$$(EJ)_{TOT,l} = (EJ)_{0,l}$$

$$(EJ)_{TOT,b} = \sum_i (EJ)_{i,b} = (EJ)_{0,b} + (EJ)_{1,b} + (EJ)_{2,b}$$



where

- $(EJ)_{0,l}$ is the stiffness of principal elements “Layer 0”, along the span;
- $(EJ)_{0,b}$ is the stiffness of principal elements, perpendicular to the span;
- $(EJ)_{1,b}$ is the stiffness of secondary element “Layer 1”, perpendicular to the span;
- $(EJ)_{2,b}$ is the stiffness of secondary element “Layer 2”, perpendicular to the span.

The following table shows, for every single floor, the stiffness used in the evaluation of vibration criterion.

Floor name	$(EJ)_{0,l}$ [Nm ² /m]	$(EJ)_{0,b}$ [Nm ² /m]	$(EJ)_{1,b}$ [Nm ² /m]	$(EJ)_{2,b}$ [Nm ² /m]	$(EJ)_{TOT,l}$ [Nm ² /m]	$(EJ)_{TOT,b}$ [Nm ² /m]
Piso 1	2.54E6	2.08E5	0.00E0	0.00E0	2.54E6	2.08E5
Floor 2	2.54E6	2.08E5	0.00E0	0.00E0	2.54E6	2.08E5

Minimum frequency criterion

The fundamental frequency of floors should satisfy the following expression:

$$f_1 > f_{1,min}$$

where

- f_1 is the fundamental frequency of the floor;
- $f_{1,min}$ is the minimum frequency value, which depends on the chosen level of demand.

The minimum value $f_{1,min}$ is taken as in the following table.

	High demand	Normal demand
$f_{1,min}$	4.5 Hz	4.5 Hz

It is considered a quasi-permanent combination for loads in the calculation of the mass of the floor.

For the calculation of the fundamental natural frequency f_1 of the floor the transverse load-carrying effect is taken into account according to the following table.

Transverse load-carrying effect	k_b
Taken into account	$\sqrt{1 + \left(\frac{l}{b}\right)^4 \cdot \frac{(EJ)_{TOT,b}}{(EJ)_{TOT,l}}}$
Not taken into account	1

The value of effective width b_{eff} , which considers the effect of the transverse stiffness on the vertical deflection, is taken as:

$$b_{eff} = \min \left\{ \frac{l}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{(EJ)_{TOT,b}}{(EJ)_{TOT,l}}}, b \right\}$$

where

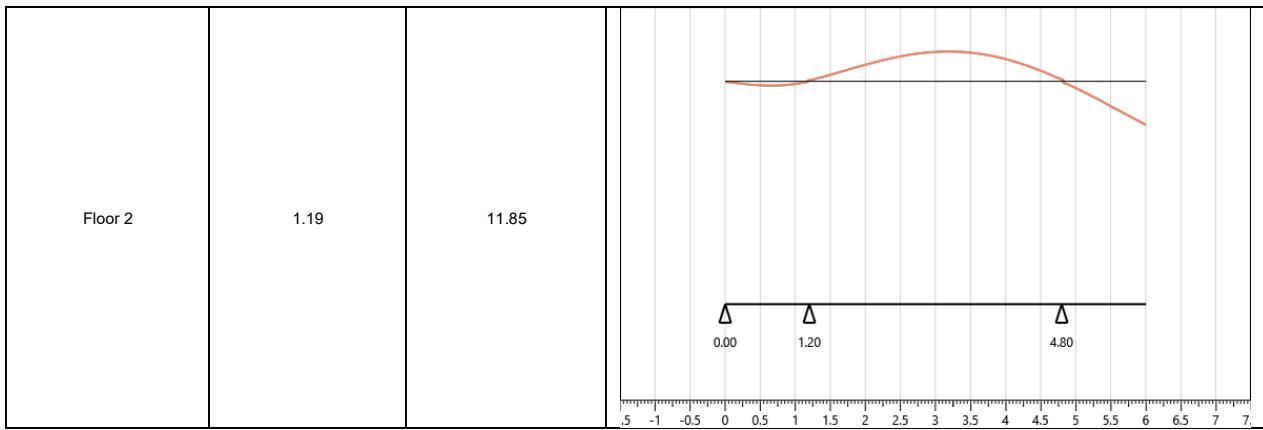
l is the length of the grater span;

b is the width of the floor;

b_{eff} is taken at least equal to the spacing between the joists, in case of joists floors, or at least equal to the width of the panel, in case of solid wood floors.

The following tables show, for every single floor (relative to the element in which the minimum frequency criterion is the most severe), the representation of the fundamental mode of vibration, b_{eff} values, modal mass values M^* , fundamental frequency values f_1 and relative checks.

Floor name	k_b	f_1 [Hz]	Fundamental vibration mode
Piso 1	1.19	11.84	



Floor name	Demand required	b_{eff} [m]	M^* [kg]	k_b	f_1 [Hz]	$f_{1,min}$ [Hz]	Check
Piso 1	Normal demand	1.75	709	1.19	11.84	4.5	38%
Floor 2	Normal demand	1.75	700	1.19	11.85	4.5	38%

Stiffness criterion – Static deflection under a concentrated load

Stiffness criterion checks are conducted evaluating the maximum instant deflection under a static concentrated force. This deflection should satisfy the following expression:

$$w_{1kN} < w_{1kN,lim}$$

where

w_{1kN} is the vertical deflection caused by a static vertical force assumed equal to 1 kN;

$w_{1kN,lim}$ is the limit value for deflection, which depends on the chosen level of demand.

Limit values $w_{1kN,lim}$ are taken as in the following table.

	High demand	Normal demand
Beam on two supports	0.5 mm	1 mm
Cantilevering beams	1 mm	2 mm

The following tables show, for every single floor (relative to the element in which the stiffness criterion is the most severe), the deformation under static force, w_{1kN} values and relative checks.

Floor name	W_{1kN} [mm]	Static deformation
Piso 1	0.57	
Floor 2	0.57	

Floor name	Demand required	Most restrictive check	W_{1kN} [mm]	$W_{1kN,lim}$ [mm/kN]	Check
Piso 1	Normal demand	Cantilever beams	0.57	2	29%
Floor 2	Normal demand	Cantilever beams	0.57	2	29%

Acceleration criterion (Floors with fundamental frequency lower than 8 Hz)

Acceleration criterion checks are conducted evaluating the maximum acceleration value caused by periodic actions:

$$a_{max} = 0,4 \frac{P_0 \cdot \alpha_i(f_1)}{M^*} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left[\left(\frac{f_1}{f_F}\right)^2 - 1\right]^2 + \left(2\xi \frac{f_1}{f_F}\right)^2}}$$

where

P_0 is the weight force of a person, equal to 700 N;

f_1 is the fundamental frequency of the floor;

f_F is the forcing frequency;

$\alpha_i(f_1)$ is the Fourier coefficient in dependence of the fundamental frequency of the floor;

ξ is the modal damping ratio;

M^* is the modal mass of the floor;

a_{lim} is the limit value for acceleration, which depends on the chosen level of demand.

The following table shows the parameters needed in the definition of maximum acceleration value.

Fundamental frequency f_1 [Hz]	Fourier coefficient $\alpha_i(f_1)$	Forcing frequency f_F [Hz]
$4,5 < f_1 \leq 5,1$	0,2	$f_F = f_1$
$5,1 < f_1 \leq 6,9$	0,06	$f_F = f_1$
$f_1 > 6,9$	0,06	6,9

Note the maximum acceleration a_{max} , evaluated at the point of application of the force P_0 , it is calculated the acceleration a in the generic point of the element in function of the modal shape, comparing this value with the value a_{lim} assumed as shown in the following table, in function of the required level of requirement.

	High demand	Normal demand
Beam on two supports	0.05 m/s ²	0.1 m/s ²
Cantilevering beams	0.1 m/s ²	0.2 m/s ²

The following table shows, for every single floor (relative to the element in which the acceleration criterion is the most severe), the parameters needed in the definition of maximum acceleration value and relative checks.

Floor name	Demand required	f_1 [Hz]	$\alpha_i(f_1)$ [-]	M^* [kg]	ξ [-]	Most restrictive check	a [m/s ²]	a_{lim} [m/s ²]	Check
Piso 1	Normal demand	N/D	N/D	N/D	0.02	N/D	N/D	N/D	Not applicable
Floor 2	Normal demand	N/D	N/D	N/D	0.02	N/D	N/D	N/D	Not applicable

Velocity response criterion (Floors with fundamental frequency higher than 8 Hz)

Unit impulse velocity response criterion checks are conducted evaluating vibration velocity response of the floor under a unit impulse equal to 1 Ns, limiting the upper frequency components to a value of 40 Hz. The vibration velocity response should satisfy the following expression:

$$v \leq v_{lim} = b(f_1 \xi^{-1})$$

where

b is a parameter wich depends on the chosen level of demand;

f_1 is the fundamental frequency of the floor;

ξ is the modal damping ratio;

v_{lim} is the limit value for the unit impulse velocity.

The unit impulse velocity response v , is taken as:

$$v = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6n_{40})}{mbl + 200}$$

where

n_{40} is the number of first-order modes with natural frequencies up to 40 Hz;

m is the mass of the floor;

l is the length of the greater span.

The value of n_{40} is taken as:

$$n_{40} = \left\{ \left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \cdot \left(\frac{b}{l} \right)^4 \cdot \frac{(EJ)_{TOT,l}}{(EJ)_{TOT,b}} \right\}^{0,25}$$

Limit values b are taken as in the following table.

	High demand	Normal demand
b	150	120

The following table shows, for every single floor (relative to the element in which the unit impulse velocity response criterion is the most severe), the parameters needed in the definition of maximum unit impulse velocity response value and relative checks.

Floor name	Demand required	f_1 [Hz]	ξ [-]	n_{40} [-]	v [m/(Ns ²)]	v_{lim} [m/(Ns ²)]	Check
Piso 1	Normal demand	11.84	0.02	2.24	2.24E-3	2.59E-2	9%
Floor 2	Normal demand	11.85	0.02	2.24	2.24E-3	2.59E-2	9%

Timber beams

Bending strength

The checks are conducted according to § 6.3.2 of EN 1995-1-1. The following expression shall be satisfied:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

where

$\sigma_{m,d}$ is the design bending stress;

$f_{m,d}$ is the design bending strength;

k_{crit} is a factor which takes into account the reduced bending strength due to lateral buckling.

The factor k_{crit} is assumed equal to 1.0 for beams in which the lateral displacement of the compressed edge is prevented over the entire length and the torsional rotation is prevented at the supports. Otherwise, the factor is determined from the following expression:

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{for } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{for } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{for } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

in which the relative slenderness for bending is taken as:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

and $\sigma_{m,crit}$, the critical bending stress calculated according to the classical theory of stability is taken as:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{l_{ef} W_y}$$

where

$E_{0,05}$ is the fifth percentile value of modulus of elasticity parallel to grain;

$G_{0,05}$ is the fifth percentile value of shear modulus parallel to grain;

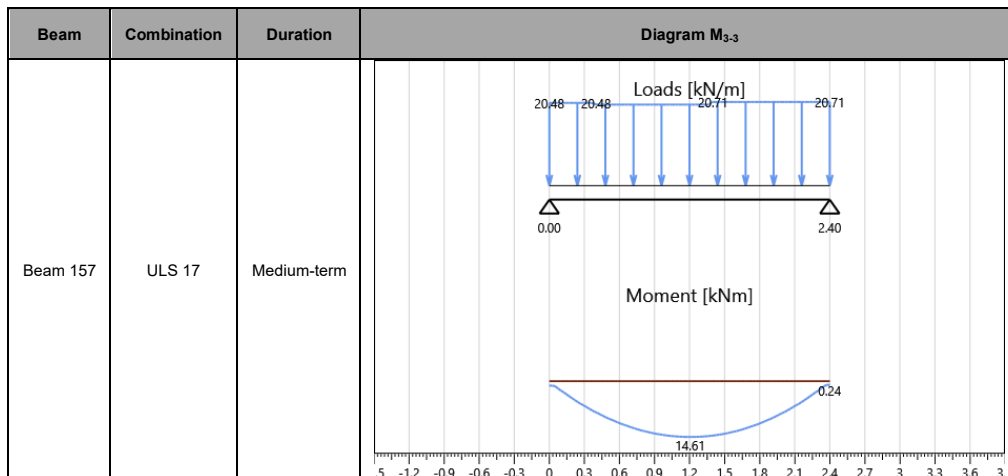
I_z is the second moment of area about the weak axis z;

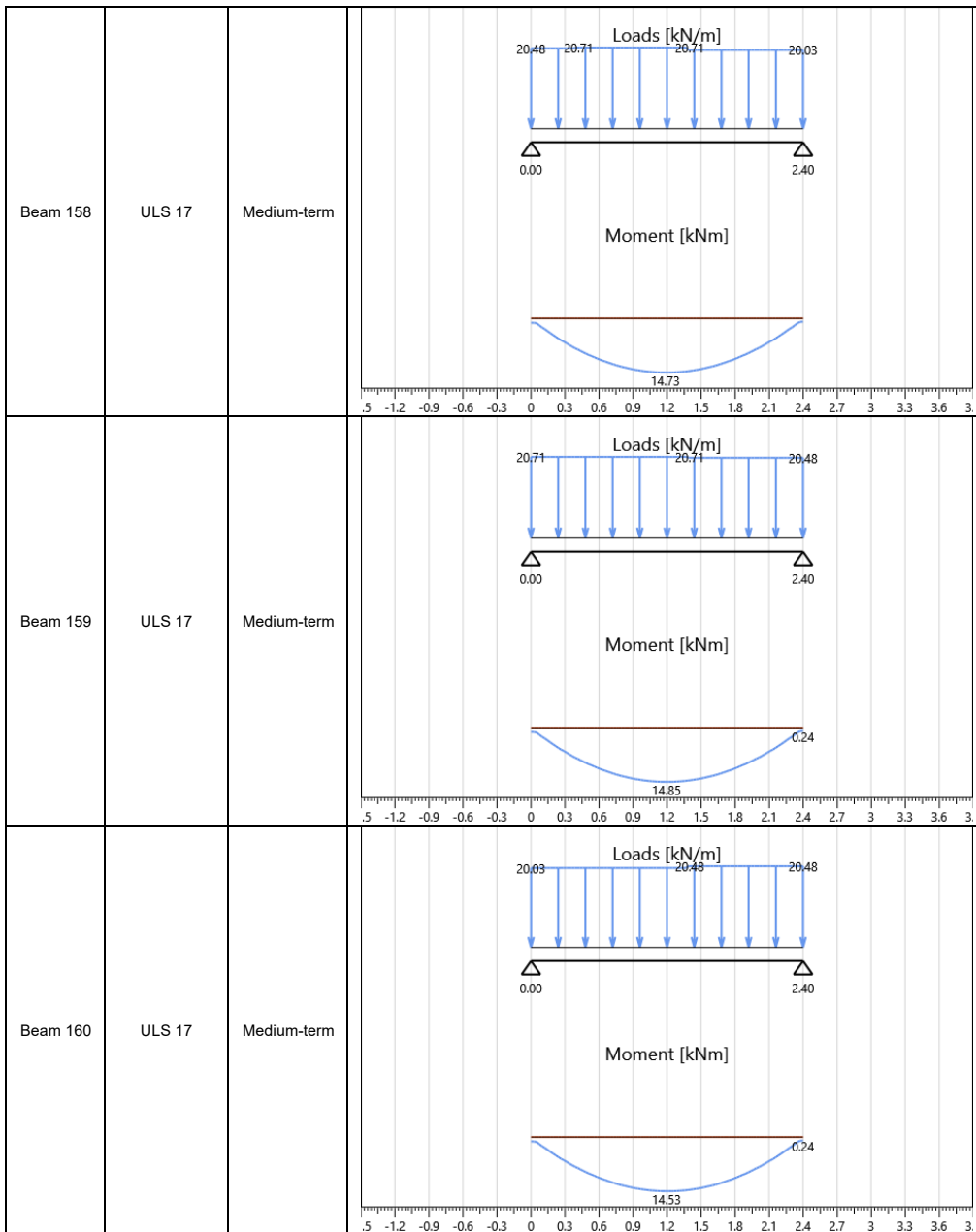
I_{tor} is the torsional moment of inertia;

l_{ef} is the effective length of the beam, depending on the support conditions and the load configuration;

W_y is the section modulus about the strong axis y.

The following table shows, for each beam, the bending moment relating to the worst Ultimate Limit State combination.





The checks are summarized below. The values resulting from the calculations, relating to each verification, are reported in the form of a percentage.

Beam name	Section	$M_{3-3 \max}$ [kNm]	W [mm ³]	Lateral restraints	$\sigma_{m,crit}$ [MPa]	k_{crit}	Comb.	k_h	k_{mod}	γ_M	$f_{m,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,d}$ [MPa]	Check
Beam 157	Timber section	14.61	972000	No torsional buckling	-	1.00	ULS 17	1.00	0.8	1.25	15.36	15.03	98%
Beam 158	Timber section	14.73	972000	No torsional buckling	-	1.00	ULS 17	1.00	0.8	1.25	15.36	15.15	99%
Beam 159	Timber section	14.85	972000	No torsional buckling	-	1.00	ULS 17	1.00	0.8	1.25	15.36	15.28	99%
Beam 160	Timber section	14.53	972000	No torsional buckling	-	1.00	ULS 17	1.00	0.8	1.25	15.36	14.95	97%

Shear strength

The checks are conducted according to § 6.1.7 of EN 1995-1-1. The following expression shall be satisfied:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

where:

τ_d is the design shear stress;

$f_{v,d}$ is the design shear strength for the actual condition.

For the verification of shear resistance of members in bending, the influence of cracks should be taken into account using an effective width of the member given as:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b$$

where b is the width of the relevant section of the member.

The following value of k_{cr} are used

$k_{cr} = 0.67 (\leq 1)$ for solid timber

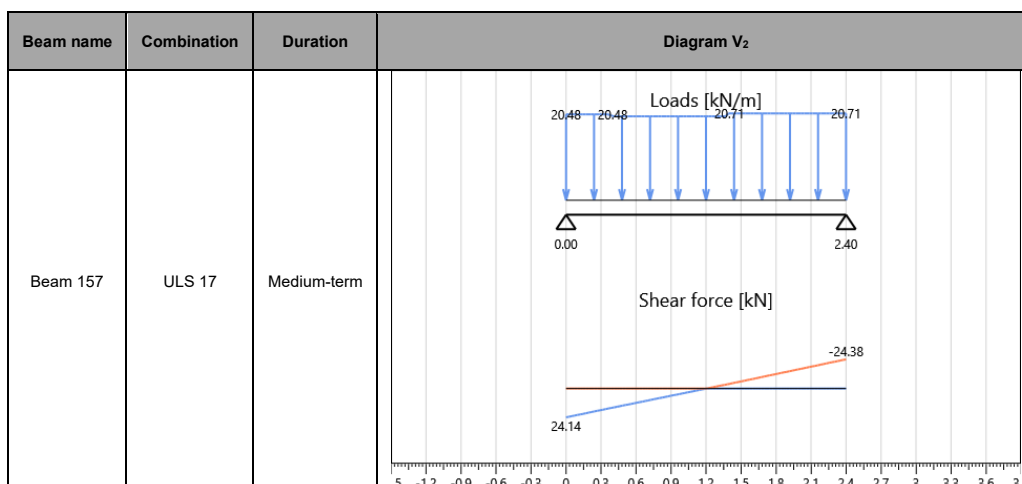
$k_{cr} = 0.67 (\leq 1)$ for glued laminated timber

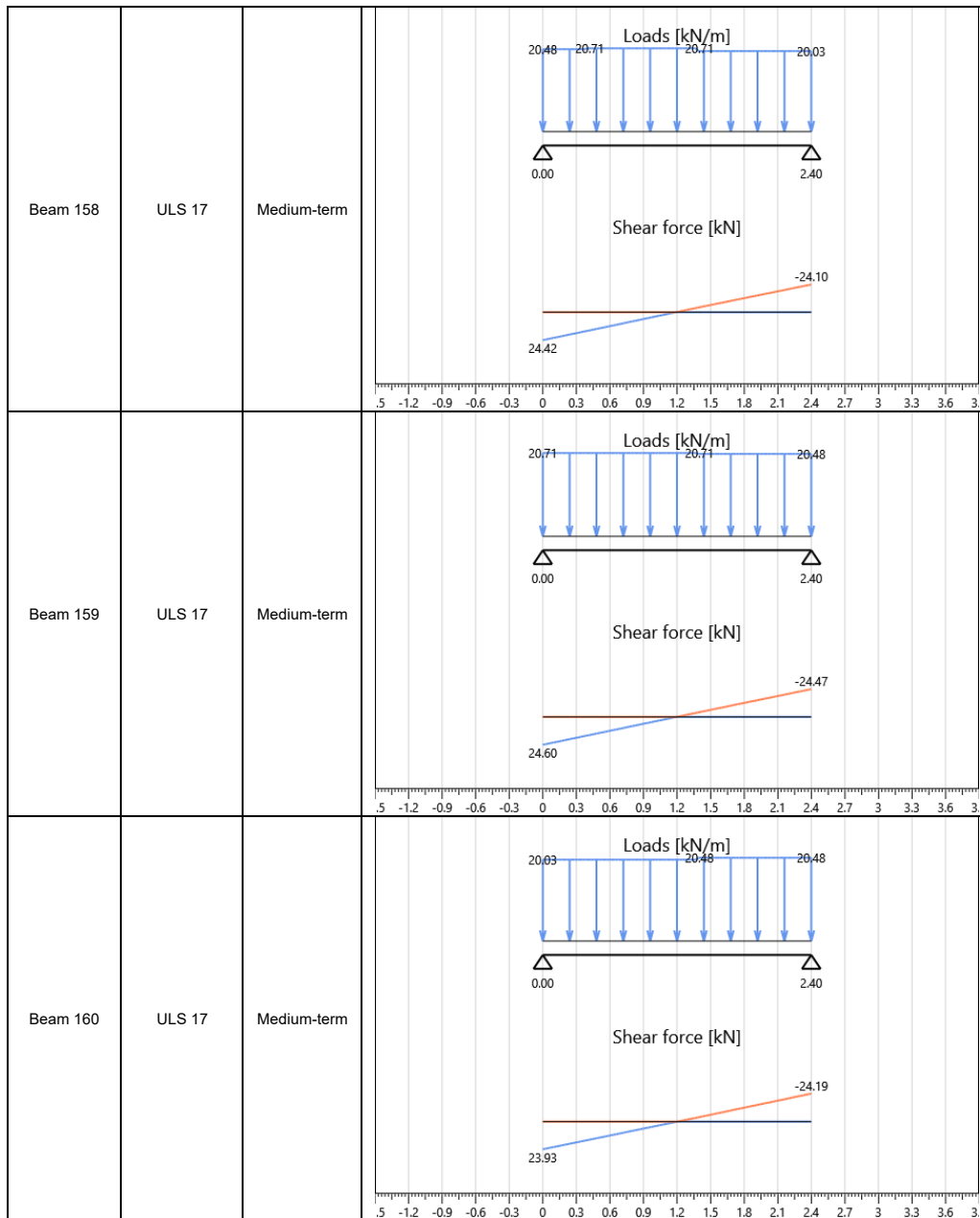
The maximum design shear stress in a rectangular cross section can be evaluated using the following expression:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{k_{cr} \cdot A}$$

where A is the area of a joist cross section.

The following table illustrates the structural schemes and the envelopes of the shear force diagram for each beam.





The checks are summarized below. The values resulting from the calculations, relating to each verification, are reported in the form of a percentage.

Beam name	Section	$V_{2, \max}$ [kN]	Area [mm ²]	k_{cr}	Comb.	Service class	k_{mod}	γ_M	$f_{v,d}$ [MPa]	$\tau_{z,d}$ [MPa]	Check
Beam 157	Timber section	24.38	32400	0.67	ULS 17	1	0.8	1.25	2.24	1.68	75%
Beam 158	Timber section	24.42	32400	0.67	ULS 17	1	0.8	1.25	2.24	1.69	75%
Beam 159	Timber section	24.60	32400	0.67	ULS 17	1	0.8	1.25	2.24	1.70	76%
Beam 160	Timber section	24.19	32400	0.67	ULS 17	1	0.8	1.25	2.24	1.67	75%

Beams deflections (SLS)

The deflection checks are carried out according to § 2.2.3 of EN 1995-1-1.

The net deflection below a straight line between the supports, $w_{net,fin}$, is taken as:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c$$

where

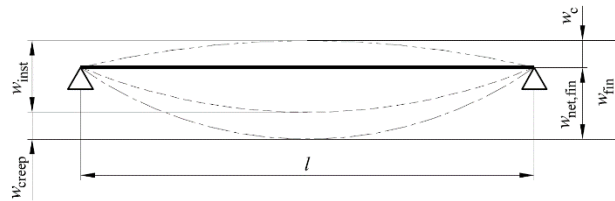
$w_{net,fin}$ is the net final deflection;

w_{inst} is the instantaneous deflection;

w_{creep} is the creep deflection;

w_c is the precamber (if applied);

w_{fin} is the final deflection.



The limiting values for deflections of beams are assumed as shown in the following table.

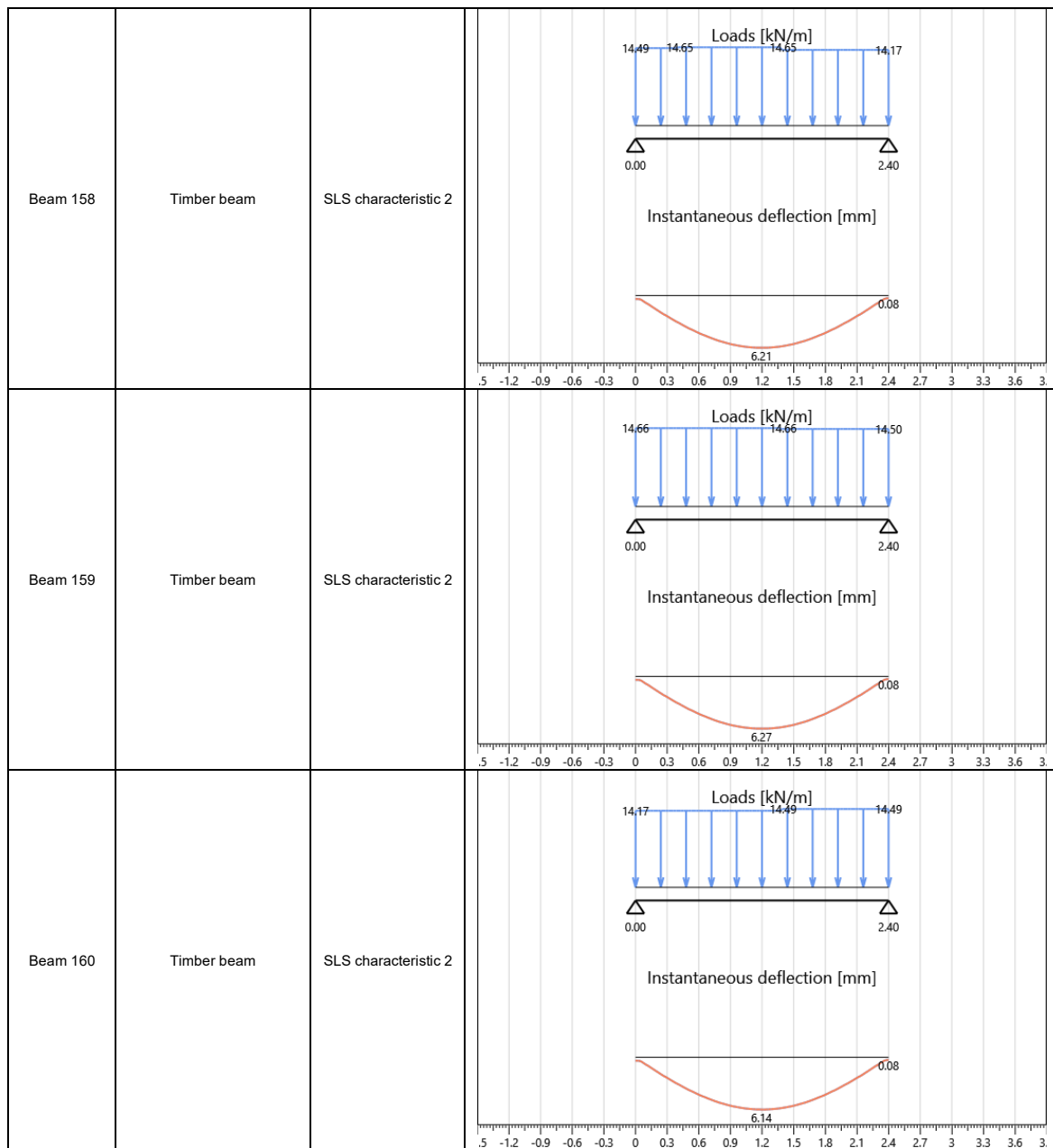
Deformation limits name	$w_{inst, span}$	$w_{net, fin, span}$	$w_{inst, overhang}$	$w_{net, fin, overhang}$	Neglect overhang check for deformation < 0
Timber beam	$l/300$	$l/250$	$l/150$	$l/125$	Yes

Instantaneous deflection

The instantaneous deflection w_{inst} is calculated for the characteristic (rare) combination of actions.

The following table shows the deformation of each beam.

Beam name	Deformation limits name	Combination	Instantaneous deflection
Beam 157	Timber beam	SLS characteristic 2	



The table below shows the instantaneous deflection checks of the beams.

Beam name	Section	Combination	Most restrictive check	w_{inst} [mm]	w_{inst} limit [mm]	Deflection limit	Check
Beam 157	Timber section	SLS characteristic 2	Internal span	6.17	8.00	l/300	77%
Beam 158	Timber section	SLS characteristic 2	Internal span	6.21	8.00	l/300	78%
Beam 159	Timber section	SLS characteristic 2	Internal span	6.27	8.00	l/300	78%
Beam 160	Timber section	SLS characteristic 2	Internal span	6.14	8.00	l/300	77%

Final deflection

For structures consisting of members, components and connections with the same creep behaviour and under the assumption of a linear relationship between the actions and the corresponding deformations the final deformation, w_{fin} , may be taken as:

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + \sum w_{fin,Qi}$$

where:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def})$$

for a permanent action, G

$$w_{fin,Q,1} = w_{inst,Q,1} \cdot (1 + \Psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

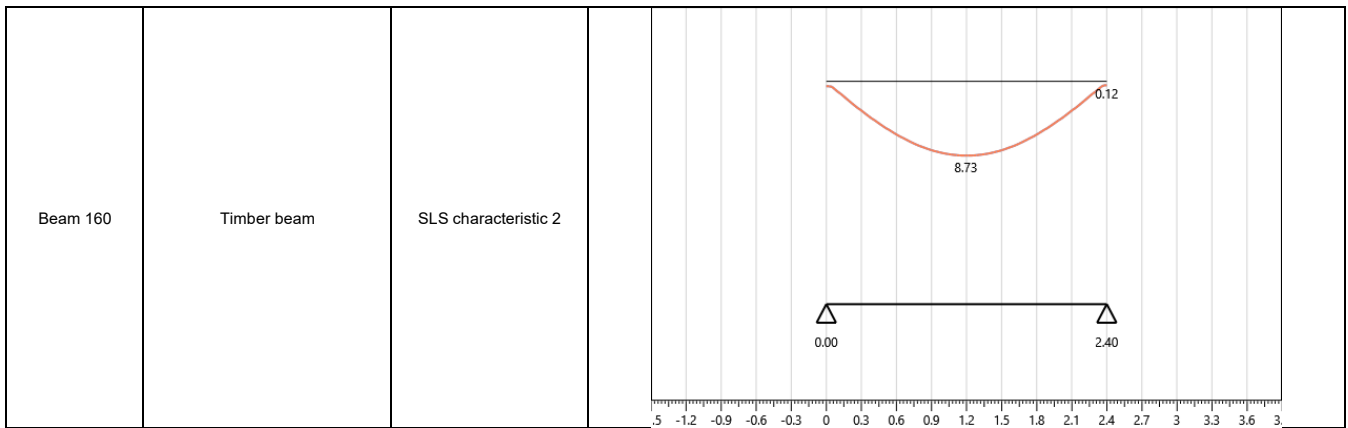
for the leading variable action, Q₁

$$w_{fin,Q,i} = w_{inst,Q,i} \cdot (\Psi_{0,i} + \Psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

for accompanying variable actions, Q_i (i>1)

The following table shows the deformation of each floor (relative to the element in which the deformation checks are the most severe).

Beam name	Deformation limits name	Combination	Final deflection
Beam 157	Timber beam	SLS characteristic 2	
Beam 158	Timber beam	SLS characteristic 2	
Beam 159	Timber beam	SLS characteristic 2	



The table below shows the final deflection checks for every beam.

Beam name	Section	Combination	Service class	k_{def}	Most restrictive check	W_{fin} [mm]	W_{fin} limit [mm]	Deflection limit	Check
Beam 157	Timber section	SLS characteristic 2	1	0.6	Internal span	8.79	9.60	$l/250$	92%
Beam 158	Timber section	SLS characteristic 2	1	0.6	Internal span	8.84	9.60	$l/250$	92%
Beam 159	Timber section	SLS characteristic 2	1	0.6	Internal span	8.92	9.60	$l/250$	93%
Beam 160	Timber section	SLS characteristic 2	1	0.6	Internal span	8.73	9.60	$l/250$	91%

CLT walls

Buckling of CLT walls

The stability checks of CLT walls are conducted with reference to what reported in 6.3.2 of EN 1995-1-1.

The values of the actions in the table below are related, for each wall, to the most severe combination of load for the Ultimate Limit State of stability.

Wall name	Length [m]	Comb.	Dur.	N [kN]	M2-2 [kNm]
Wall 30	0.60	ULS 16	Permanent	2.85	0.00
Wall 31	0.60	ULS 17	Medium-term	27.20	0.00
Wall 32	0.60	ULS 17	Medium-term	27.20	0.00
Wall 33	0.60	ULS 16	Permanent	2.85	0.00
Wall 37	0.60	ULS 16	Permanent	2.85	0.00
Wall 38	0.60	ULS 16	Permanent	2.85	0.00
Wall 39	0.60	ULS 16	Permanent	2.85	0.00
Wall 40	0.60	ULS 17	Medium-term	27.48	0.00
Wall 41	0.60	ULS 17	Medium-term	27.48	0.00
Wall 42	0.60	ULS 16	Permanent	2.85	0.00
Wall 43	0.60	ULS 16	Permanent	2.85	0.00
Wall 44	0.60	ULS 17	Medium-term	27.23	0.00
Wall 45	0.60	ULS 16	Permanent	2.85	0.00
Wall 46	0.60	ULS 17	Medium-term	27.23	0.00
Wall 47	0.60	ULS 16	Permanent	2.85	0.00
Wall 48	0.60	ULS 16	Permanent	2.85	0.00
Wall 49	0.60	ULS 16	Permanent	2.85	0.00
Wall 50	0.60	ULS 17	Medium-term	27.43	0.00
Wall 51	0.60	ULS 17	Medium-term	27.43	0.00
Wall 52	0.60	ULS 16	Permanent	2.85	0.00
Wall 58	0.60	ULS 16	Permanent	2.51	0.00
Wall 59	0.60	ULS 19	Instantaneous	1.16	0.00
Wall 60	0.60	ULS 19	Instantaneous	0.96	0.00
Wall 61	0.60	ULS 16	Permanent	2.71	0.00
Wall 66	0.60	ULS 19	Instantaneous	2.67	1.08
Wall 67	0.60	ULS 20	Instantaneous	13.22	1.08
Wall 68	0.60	ULS 20	Instantaneous	13.22	1.08
Wall 69	0.60	ULS 19	Instantaneous	2.67	1.08
Wall 70	0.60	ULS 19	Instantaneous	2.67	1.08
Wall 71	0.60	ULS 19	Instantaneous	2.67	1.08
Wall 72	0.60	ULS 19	Instantaneous	2.67	1.08
Wall 73	0.60	ULS 20	Instantaneous	13.34	1.08
Wall 74	0.60	ULS 20	Instantaneous	13.34	1.08
Wall 75	0.60	ULS 19	Instantaneous	2.67	1.08
Wall 80	0.60	ULS 19	Instantaneous	2.67	1.08
Wall 81	0.60	ULS 20	Instantaneous	13.20	1.08
Wall 82	0.60	ULS 20	Instantaneous	13.20	1.08
Wall 83	0.60	ULS 19	Instantaneous	2.67	1.08
Wall 84	0.60	ULS 19	Instantaneous	2.67	1.08
Wall 85	0.60	ULS 19	Instantaneous	2.67	1.08

Wall 86	0.60	ULS 19	Instantaneous	2.67	1.08
Wall 87	0.60	ULS 20	Instantaneous	13.32	1.08
Wall 88	0.60	ULS 20	Instantaneous	13.32	1.08
Wall 89	0.60	ULS 19	Instantaneous	2.67	1.08
Wall 212	0.60	ULS 19	Instantaneous	2.48	1.08
Wall 214	0.60	ULS 19	Instantaneous	2.61	1.08
Wall 215	0.60	ULS 19	Instantaneous	2.78	1.23
Wall 221	0.80	ULS 19	Instantaneous	3.58	1.64
Wall 227	1.00	ULS 19	Instantaneous	0.12	0.01
Wall 232	1.20	ULS 19	Instantaneous	1.96	0.29

The stability checks of the CLT panels are performed considering a wall portion of unitary length.

Where both $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$ and $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$, the stresses should satisfy the expressions (6.19) and (6.20) in 6.2.4 of EN 1995-1-1.

In all other cases the stresses, which will be increased due to deflection, should satisfy the following expressions:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

Mechanical model for the internal stress pattern in CLT elements

The calculation model adopted for the design of CLT in bending out-of-plane is that of mechanically jointed beams with deformable connection. The calculation of CLT elements is calculated as a mechanically jointed structure in accordance with Appendix B of EN 1995-1-1. The shear flexibility of the transverse layers is considered using the γ -method (gamma): namely with Möhler theory for CLT panel having up to 3 layers oriented in the direction of calculation and with Shelling theory for CLT panel having more than 3 layers oriented in the direction of calculation.

The effective bending stiffness is taken as:

$$EJ_{eff} = \sum_{i=1}^n (E_i J_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$

$$\gamma_i = \left[1 + \frac{\pi^2 E_i A_i}{G_R \cdot \frac{b}{a} \cdot h^2} \right]^{-1}$$

where:

J_i is the moment of inertia of layer i in reference to its neutral axis

A_i is the cross-sectional area of layer i

a_i is the distance between the centre of gravity of layer i and centre of gravity of the CLT element

h It is the height of the wall

G_R is the rolling shear modulus (mean value)

The results of the stability checks are reported below expressed as percentages.

A_{net} : Cross sectional area of the wall portion considered in the verification (linear meter)

J_{eff} : Cross sectional effective moment of inertia of the wall portion

Comb.: The most severe combination of load

k_{mod} : Modification factor taking into account the effect of the duration of load and moisture content

γ_M : Partial factor for a material property

$f_{c,0,k}$: Design compressive strength along the grain

$f_{m,k}$: Design bending strength

$\sigma_{c,0,d}$: Design compressive stress along the grain

Wall name	Section	h [m]	A_{net} [mm ² /m]	J_{eff} [mm ⁴ /m]	k_c	Comb.	Service Class	k_{mod}	γ_M	$f_{c,0,k}$ [MPa]	$f_{m,k}$ [MPa]	$\sigma_{c,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,d}$ [MPa]	Check
Wall 30	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 16	1	0.6	1.25	21	24	0.08	0.00	1%
Wall 31	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 17	1	0.8	1.25	21	24	0.67	0.00	5%
Wall 32	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 17	1	0.8	1.25	21	24	0.75	0.00	6%
Wall 33	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 16	1	0.6	1.25	21	24	0.08	0.00	1%
Wall 37	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 16	1	0.6	1.25	21	24	0.08	0.00	1%
Wall 38	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 16	1	0.6	1.25	21	24	0.08	0.00	1%
Wall 39	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 16	1	0.6	1.25	21	24	0.08	0.00	1%
Wall 40	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 17	1	0.8	1.25	21	24	0.67	0.00	5%
Wall 41	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 17	1	0.8	1.25	21	24	0.76	0.00	6%
Wall 42	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 16	1	0.6	1.25	21	24	0.08	0.00	1%
Wall 43	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 16	1	0.6	1.25	21	24	0.08	0.00	1%
Wall 44	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 17	1	0.8	1.25	21	24	0.67	0.00	5%
Wall 45	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 16	1	0.6	1.25	21	24	0.08	0.00	1%
Wall 46	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 17	1	0.8	1.25	21	24	0.75	0.00	6%
Wall 47	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 16	1	0.6	1.25	21	24	0.08	0.00	1%
Wall 48	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 16	1	0.6	1.25	21	24	0.08	0.00	1%
Wall 49	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 16	1	0.6	1.25	21	24	0.08	0.00	1%
Wall 50	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 17	1	0.8	1.25	21	24	0.67	0.00	5%
Wall 51	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 17	1	0.8	1.25	21	24	0.75	0.00	6%
Wall 52	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 16	1	0.6	1.25	21	24	0.08	0.00	1%
Wall 58	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 16	1	0.6	1.25	21	24	0.07	0.00	1%
Wall 59	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.03	0.02	0%
Wall 60	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.03	0.02	0%
Wall 61	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 16	1	0.6	1.25	21	24	0.07	0.00	1%
Wall 66	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.07	1.39	12%
Wall 67	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 20	1	1.1	1.25	21	24	0.36	1.39	16%
Wall 68	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 20	1	1.1	1.25	21	24	0.36	1.39	16%
Wall 69	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.07	1.39	12%
Wall 70	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.07	1.39	12%
Wall 71	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.07	1.39	12%
Wall 72	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.07	1.39	12%
Wall 73	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 20	1	1.1	1.25	21	24	0.36	1.39	16%
Wall 74	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 20	1	1.1	1.25	21	24	0.36	1.39	16%
Wall 75	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.07	1.39	12%
Wall 80	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.07	1.39	12%
Wall 81	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 20	1	1.1	1.25	21	24	0.36	1.39	16%
Wall 82	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 20	1	1.1	1.25	21	24	0.36	1.39	16%
Wall 83	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.07	1.39	12%
Wall 84	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.07	1.39	12%
Wall 85	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.07	1.39	12%
Wall 86	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.07	1.39	12%
Wall 87	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 20	1	1.1	1.25	21	24	0.36	1.39	16%
Wall 88	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 20	1	1.1	1.25	21	24	0.36	1.39	16%
Wall 89	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.07	1.39	12%
Wall 212	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.07	1.39	12%
Wall 214	CLT 100MM	3.0	60000	59904101	0.36	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.07	1.39	12%
Wall 215	CLT 100MM	3.2	60000	60579759	0.32	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.08	1.58	14%
Wall 221	CLT 100MM	3.2	60000	60579759	0.32	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.07	1.58	10%
Wall 227	CLT 100MM	0.2	60000	4592452	0.99	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.00	0.02	0%
Wall 232	CLT 100MM	1.1	60000	37893694	0.92	ULS 19	1	1.1	1.25	21	24	0.03	0.21	1%

Compression perpendicular to the grain

In the area of wall support there are high local stresses perpendicular to the grain. The following expression shall be satisfied:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90,d} \cdot f_{c,90,d}$$

with

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{full}}$$

where

$\sigma_{c,90,d}$ is the design compressive stress in the contact area perpendicular to the grain;

$F_{c,90,d}$ is the design load of compression perpendicular to the grain;

A_{full} is the contact area on which the compression load (perpendicular to the grain) acts;

$f_{c,90,d}$ is the design compressive strength perpendicular to the grain;

$k_{c,90,d}$ is a factor taking into account the load configuration, possibility of splitting and degree of compressive deformation.

The values of the actions in the table below are related, for each wall, to the most severe combination of load for the Ultimate Limit State.

Wall name	Length [m]	Comb.	Dur.	N [kN]
Wall 30	0.60	ULS 16	Permanent	2.85
Wall 31	0.60	ULS 17	Medium-term	27.20
Wall 32	0.60	ULS 17	Medium-term	27.20
Wall 33	0.60	ULS 16	Permanent	2.85
Wall 37	0.60	ULS 16	Permanent	2.85
Wall 38	0.60	ULS 16	Permanent	2.85
Wall 39	0.60	ULS 16	Permanent	2.85
Wall 40	0.60	ULS 17	Medium-term	27.48
Wall 41	0.60	ULS 17	Medium-term	27.48
Wall 42	0.60	ULS 16	Permanent	2.85
Wall 43	0.60	ULS 16	Permanent	2.85
Wall 44	0.60	ULS 17	Medium-term	27.23
Wall 45	0.60	ULS 16	Permanent	2.85
Wall 46	0.60	ULS 17	Medium-term	27.23
Wall 47	0.60	ULS 16	Permanent	2.85
Wall 48	0.60	ULS 16	Permanent	2.85
Wall 49	0.60	ULS 16	Permanent	2.85
Wall 50	0.60	ULS 17	Medium-term	27.43
Wall 51	0.60	ULS 17	Medium-term	27.43
Wall 52	0.60	ULS 16	Permanent	2.85
Wall 58	0.60	ULS 16	Permanent	2.51
Wall 59	0.60	ULS 16	Permanent	1.16
Wall 60	0.60	ULS 16	Permanent	0.96
Wall 61	0.60	ULS 16	Permanent	2.71
Wall 66	0.60	ULS 16	Permanent	2.67
Wall 67	0.60	ULS 17	Medium-term	14.85
Wall 68	0.60	ULS 17	Medium-term	14.85
Wall 69	0.60	ULS 16	Permanent	2.67
Wall 70	0.60	ULS 16	Permanent	2.67
Wall 71	0.60	ULS 16	Permanent	2.67
Wall 72	0.60	ULS 16	Permanent	2.67
Wall 73	0.60	ULS 17	Medium-term	14.98
Wall 74	0.60	ULS 17	Medium-term	14.98
Wall 75	0.60	ULS 16	Permanent	2.67
Wall 80	0.60	ULS 16	Permanent	2.67
Wall 81	0.60	ULS 17	Medium-term	14.83
Wall 82	0.60	ULS 17	Medium-term	14.83
Wall 83	0.60	ULS 16	Permanent	2.67
Wall 84	0.60	ULS 16	Permanent	2.67
Wall 85	0.60	ULS 16	Permanent	2.67
Wall 86	0.60	ULS 16	Permanent	2.67
Wall 87	0.60	ULS 17	Medium-term	14.97
Wall 88	0.60	ULS 17	Medium-term	14.97
Wall 89	0.60	ULS 16	Permanent	2.67

Wall 212	0.60	ULS 16	Permanent	2.48
Wall 214	0.60	ULS 16	Permanent	2.61
Wall 215	0.60	ULS 16	Permanent	2.78
Wall 221	0.80	ULS 16	Permanent	3.58
Wall 227	1.00	ULS 16	Permanent	0.12
Wall 232	1.20	ULS 16	Permanent	1.96

The compression checks of the CLT panels are performed considering a wall portion of unitary length.

Section: CLT element section

A_{full} : Contact area on which the compression load (perpendicular to the grain) acts

Comb.: The most severe combination of load

k_{mod} : Modification factor taking into account the effect of the duration of load and moisture content

γ_M : Partial factor for a material property

$f_{c,90,k}$: Design compressive strength perpendicular to the grain

$\sigma_{c,90,d}$: Design compressive stress in the contact area perpendicular to the grain

Wall name	Section	A_{full} [mm ² /m]	$k_{c,90}$	Comb.	Service class	k_{mod}	γ_M	$f_{c,90,k}$ [MPa]	$\sigma_{c,90,d}$ [MPa]	Check
Wall 30	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.05	3%
Wall 31	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.40	17%
Wall 32	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.45	19%
Wall 33	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.05	3%
Wall 37	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.05	3%
Wall 38	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.05	3%
Wall 39	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.05	3%
Wall 40	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.40	17%
Wall 41	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.45	19%
Wall 42	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.05	3%
Wall 43	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.05	3%
Wall 44	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.40	17%
Wall 45	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.05	3%
Wall 46	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.45	19%
Wall 47	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.05	3%
Wall 48	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.05	3%
Wall 49	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.05	3%
Wall 50	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.40	17%
Wall 51	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.45	19%
Wall 52	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.05	3%
Wall 58	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 59	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.02	1%
Wall 60	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.02	1%
Wall 61	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 66	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 67	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.24	10%
Wall 68	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.24	10%
Wall 69	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 70	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 71	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 72	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 73	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.25	10%
Wall 74	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.25	10%
Wall 75	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 80	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 81	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.24	10%
Wall 82	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.24	10%
Wall 83	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 84	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 85	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 86	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 87	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.25	10%
Wall 88	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 17	1	0.8	1.25	2.5	0.25	10%
Wall 89	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 212	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 214	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 215	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.05	3%
Wall 221	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.04	2%
Wall 227	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.00	0%
Wall 232	CLT 100MM	100000	1.5	ULS 16	1	0.6	1.25	2.5	0.02	1%

Shear (load in-plane)

The internal stress pattern in a CLT element subjected to shear forces can lead to failure of the material in two different mechanisms: shear bearing (mechanism I) in the boards and torsion-like (mechanism II) in the gluing interfaces.

The values of the actions in the table below are related, for each wall, to the most severe combination of load for the shear Ultimate Limit State.

Wall name	Length [m]	Comb.	Dur.	V2 [kN]
Wall 30	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 31	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 32	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 33	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 37	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 38	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 39	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 40	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 41	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 42	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 43	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 44	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 45	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 46	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 47	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 48	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 49	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 50	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 51	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 52	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23
Wall 58	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	5.70
Wall 59	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	5.70
Wall 60	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	5.70
Wall 61	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	5.70
Wall 66	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 67	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 68	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 69	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 70	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 71	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 72	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 73	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 74	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 75	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 80	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 81	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 82	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 83	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 84	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 85	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 86	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 87	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 88	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 89	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47
Wall 212	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	4.35
Wall 214	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	4.35
Wall 215	0.60	Horizontal ULS 4	Instantaneous	4.95

Mechanism I - shear

The internal shear stress can be evaluated as

$$\tau_z = \frac{v_2}{\sum t_{i,ext}}$$

$$\tau_y = \frac{v_2}{\sum t_{i,int}}$$

where

v_2 is the shear per linear metre acting on the CLT element;

- $t_{i,ext}$ is the thickness of the i-th layer having orientation parallel to the external layers;
- $t_{i,int}$ is the thickness of the i-th layer having orientation parallel to the internal layers;
- τ_z is the shear stress acting on the layers having orientation parallel to the external layers;
- τ_y is the shear stress acting on the layers having orientation parallel to the internal layers.

The stress to be used in the checks is the maximum between the two:

$$\tau_d = \max(\tau_z; \tau_y)$$

The following expression shall be satisfied

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

being

$f_{v,d}$ the shear strength calculated as

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M}$$

Mechanism II – torsion

The internal torsional stress can be expressed as

$$\tau_{T,d} = \frac{M_T}{W}$$

being:

M_T the internal torsional moment;

W the polar moment of resistance.

The polar moment of resistance is defined by the following expression

$$W = \frac{a_{ref}^3}{3}$$

where a_{ref} is the average width of the boards assumed equal to 150 mm.

The internal torsional moment M_T can be evaluated according to the model proposed in different European Technical Assessments (ETA) where the following expression is used

$$M_T = \frac{v_2 \cdot a_{ref}^2}{n_{strati-1}}$$

The following expression shall be satisfied

$$\tau_{T,d} \leq f_{T,d}$$

where

$f_{T,d}$ the design value of the torsional strength of glued interfaces.

$$f_{T,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{T,k}}{\gamma_M}$$

Below is the table with the shear checks for each CLT wall. The two different mechanisms (shear and torsion) are verified.

Comb.: The most severe combination of load

k_{mod} : Modification factor taking into account the effect of the duration of load and moisture content

γ_M : Partial factor for a material property

$f_{v,k}$: CLT characteristic shear strength (Mechanism I)

τ_d : Design shear stress in the layers

M_T : Torsional moment on every glued interfaces

W : Polar moment of resistance

$f_{T,k}$: Characteristic value of the torsional shear strength of the glued interfaces

$\tau_{T,d}$: Design shear stress (due to torsion) in the external layers

Wall name	Section	Comb.	Service class	k_{mod}	γ_M	$f_{v,k}$ [MPa]	τ_d [MPa]	Check - shear	M_T [Nmm]	W [mm ³]	$f_{T,k}$ [MPa]	$\tau_{T,d}$ [MPa]	Check torsion
Wall 30	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 31	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 32	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 33	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 37	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 38	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 39	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 40	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 41	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 42	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 43	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 44	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 45	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 46	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 47	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 48	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 49	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 50	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 51	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 52	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.09	3%	20906	1125000	2.5	0.02	1%
Wall 58	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.24	7%	53417	1125000	2.5	0.05	2%
Wall 59	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.24	7%	53417	1125000	2.5	0.05	2%
Wall 60	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.24	7%	53417	1125000	2.5	0.05	2%
Wall 61	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.24	7%	53417	1125000	2.5	0.05	2%
Wall 66	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 67	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 68	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 69	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 70	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 71	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 72	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 73	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 74	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 75	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 80	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 81	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 82	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%

Wall 83	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 84	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 85	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 86	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 87	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 88	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 89	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.02	1%	4383	1125000	2.5	0	0%
Wall 212	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.18	5%	40744	1125000	2.5	0.04	2%
Wall 214	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.18	5%	40744	1125000	2.5	0.04	2%
Wall 215	CLT 100MM	Horizontal ULS 4	1	1.1	1.25	3.9	0.21	6%	46421	1125000	2.5	0.04	2%

Sections of the elements in the fire situation

According to clause 4.2.2 of EN 1995-1-2 an effective cross-section should be calculated by reducing the initial cross-section by the effective charring depth d_{ef}

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 \cdot d_0$$

where

d_{char} is the charring depth which, depending on the case, may be conventional ($d_{char,n}$) or one-dimensional ($d_{char,0}$)

$k_0 \cdot d_0$ is the thickness of the residual section, close to the char line, for which the material is assumed to have zero strength and stiffness, while the strength and stiffness properties of the remaining cross-section are assumed to be unchanged.

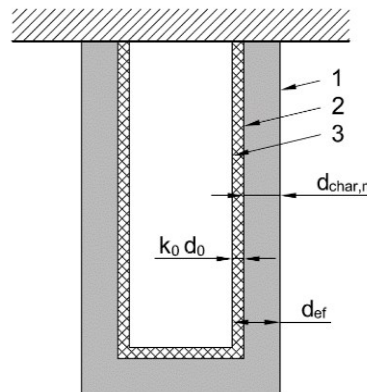


Figure: Definition of residual cross-section and effective cross-section. 1 - Initial surface of member; 2 - Border of residual cross-section; 3 - Border of effective cross-section

Charring depth

Unprotected surfaces – structural linear elements

The notional charring rate, the magnitude of which includes for the effect of corner roundings and fissures is taken as constant with time. The notional design charring depth is calculated as:

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

where

β_n is the notional design charring rate;

t is the time of fire exposure;

Unprotected surfaces – CLT

For CLT elements made with **fire resistant adhesives** the charring rate is taken as constant in the transition from one layer to another. The charring depth is calculated as:

$$d_{char,0} = \beta_{0,CLT} \cdot t$$

where

β_0 is the CLT one-dimensional charring rate;

t is the time of fire exposure.

For CLT elements made with **adhesives not resistant to fire** the charring rate is considered to vary in the passage from one layer to the underlying one. In fact, it is considered that the heat-insulating char layer may fall off and, as the protective function of this layer is lost, an increase in the carbonization rate occurs. Only when the new carbonized layer reaches a thickness of 25 mm it can offer an effective protection and the charring rate decreases.

For the **first layer** the charring depth is calculated as:

$$d_{char,0} = \beta_{0,CLT} \cdot t$$

where

$\beta_{0,CLT}$ is the CLT one-dimensional charring rate;

t is the time of fire exposure.

For the **second and subsequent layers**, until the charring depth of the individual layer exceeds 25 mm, the charring rate is:

$$\beta_{0,XLAM,k3} = k_3 \cdot \beta_{0,CLT}$$

where $k_3 = 2$.

For the **second and subsequent layers**, after the charring depth of the individual layer exceeds 25 mm, the charring rate is $\beta_{0,CLT}$.

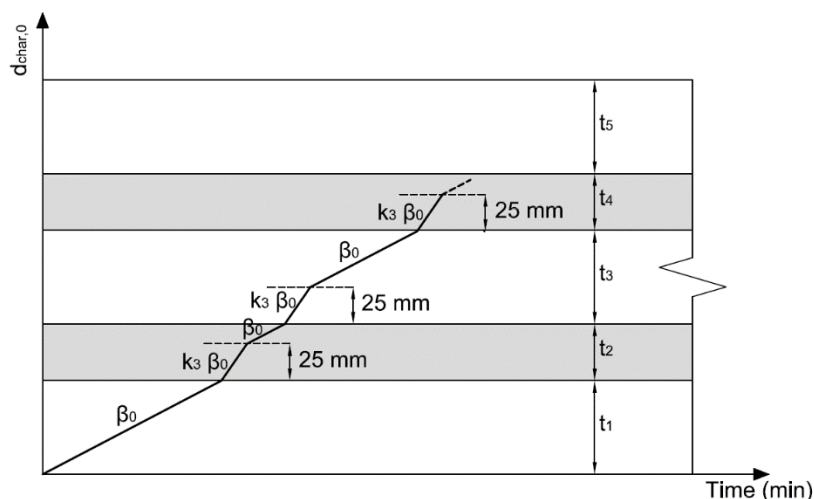


Figure: Diagram illustrating the variation of the charring rate in the passage from one layer to the underlying one of a CLT element with adhesives not resistant to fire.

Values of k_0 and d_0

The value of the depth of layer with assumed zero strength and stiffness is taken 7 mm.

For unprotected surfaces, k_0 should be determined from table below

Time	k_0
$t < 20$ minutes	$t/20$
$t \geq 20$ minutes	1,0

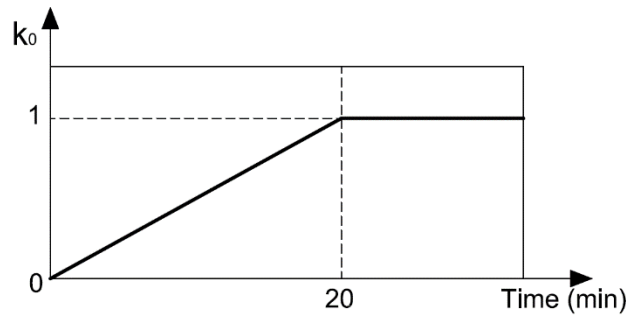


Figure: Variation of k_0 for unprotected members.

Calculation of the effective cross-sections

Timber beams

The following tables show the calculation of the effective cross-section of the beams in the fire situation.

Beam name	Fire data name	Fire resistance class R [min]	β_a	Fire protection name	k_2	t_{ch} [min]	t_r [min]	t_a [min]	$d_{char,n}$ [mm]
Beam 157	Linear elements fire	30	0.7	-	-	-	-	-	21
Beam 158	Linear elements fire	30	0.7	-	-	-	-	-	21
Beam 159	Linear elements fire	30	0.7	-	-	-	-	-	21
Beam 160	Linear elements fire	30	0.7	-	-	-	-	-	21

Beam name	Section name	$d_{char,n}$ [mm]	d_{eff} [mm]	b_{eff} [mm]	h_{eff} [mm]
Beam 157	Timber section	21	28	180	152

Beam 158	Timber section	21	28	180	152
Beam 159	Timber section	21	28	180	152
Beam 160	Timber section	21	28	180	152

CLT Floors

The following tables show the calculation of the effective cross-section of the elements of the CLT floors in the fire situation.

Floor name	Fire data name	Glue line integrity maintained	Fire resistance class R [min]	β_0	Fire protection name	k_2	t_{ch} [min]	t_f [min]	t_a [min]	$d_{char,0}$ [mm]
Piso 1	Fire definition 3	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Floor 2	Fire definition 3	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20

Floor name	Section name	$d_{char,0}$ [mm]	d_{eff} [mm]	b_{eff} [mm]	h_{eff} [mm]	Fire stratigraphy
Piso 1	CLT floor 2	20	27	1000	114	14 - 20 - 20 - 20 - 40
Floor 2	CLT floor 2	20	27	1000	114	14 - 20 - 20 - 20 - 40

CLT walls

The following tables show the calculation of the effective cross-section of the elements of the CLT walls in the fire situation.

Wall name	Fire data name	Glue line integrity maintained	Fire resistance class R [min]	β_0	Fire protection name	k_2	t_{ch} [min]	t_f [min]	t_a [min]	$d_{char,0}$ [mm]
Wall 30	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 31	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 32	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 33	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 37	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 38	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 39	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 40	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 41	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20

Wall 42	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 43	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 44	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 45	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 46	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 47	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 48	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 49	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 50	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 51	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 52	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 58	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 59	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 60	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 61	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 66	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 67	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 68	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 69	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 70	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 71	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 72	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 73	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 74	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 75	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 80	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 81	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 82	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20

Wall 83	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 84	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 85	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 86	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 87	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 88	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 89	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 212	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 214	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 215	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 221	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 227	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20
Wall 232	Paredes superiores	No	30	0.65	-	-	-	-	-	20

Wall name	Section name	$d_{char,0}$ [mm]	d_{eff} [mm]	h_{eff} [mm]	Fire stratigraphy
Wall 30	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 31	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 32	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 33	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 37	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 38	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 39	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 40	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 41	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 42	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 43	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 44	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 45	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14

Wall 46	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 47	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 48	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 49	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 50	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 51	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 52	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 58	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 59	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 60	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 61	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 66	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 67	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 68	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 69	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 70	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 71	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 72	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 73	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 74	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 75	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 80	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 81	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 82	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 83	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 84	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 85	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 86	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14

Wall 87	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 88	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 89	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 212	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 214	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 215	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 221	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 227	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14
Wall 232	CLT 100MM	20	27	74	20 - 20 - 20 - 14

Fire resistance checks

Design values of material properties and resistances

According to 2.3 of EN 1995-1-2, for verification of mechanical resistance, the design values of strength properties of the material shall be determined from

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

where

$f_{d,fi}$ is the design strength in fire;

f_{20} is the 20% fractile of a strength property at normal temperature;

$k_{mod,fi}$ is the modification factor for fire;

$\gamma_{M,fi}$ is the partial safety factor for timber in fire.

The 20% fractile of a strength or a stiffness property is calculated as:

$$f_{20} = k_{fi} \cdot f_k$$

$$S_{20} = k_{fi} \cdot S_{05}$$

where k_{fi} is given in table below (table 2.1 of EN 1995-1-2).

Material	k_{fi}
Solid timber	1.25
Glued-laminated timber	1.15
Wood-based panels	1.15

LVL	1.10
LSL	1.10

Load combinations for structural fire design

For obtaining the relevant effect of action during fire exposure, the actions are combined with the combination for accidental design situations. The representative value of the variable action Q_1 may be considered as the quasi-permanent value $\psi_{2,1} Q_1$, or as an alternative the frequent value $\psi_{1,1} Q_1$:

$$G_1 + G_2 + P + (\psi_{11} \text{ or } \psi_{21}) \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

The used combination is the Quasi permanent

CLT floors checks in the fire situation

Bending strength

The checks are conducted according to § 6.1.6 of EN 1995-1-1 using the effective cross section according to 4.2.2 of EN 1995-1-2. The following expression shall be satisfied:

$$\frac{\sigma_{m,d,fi}}{f_{m,d,fi}} \leq 1$$

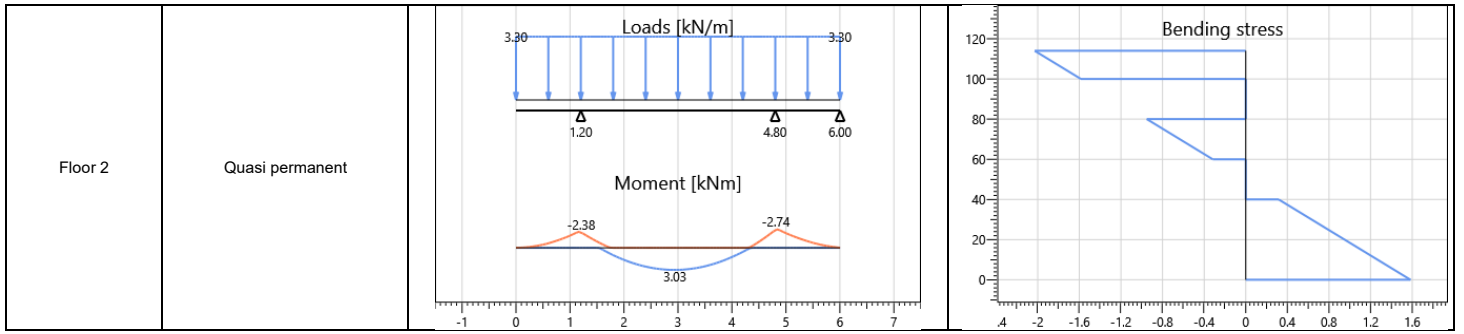
where

$\sigma_{m,d,fi}$ the design bending stress in the fire situation;

$f_{m,d,fi}$ the design bending strength in the fire situation.

The following table illustrates the structural schemes and the envelopes of the diagram of the bending moment for the part of each floor with the most sever checks.

Floor name	Combination	Diagram $M_{3,3}$	Bending stresses
Piso 1	Quasi permanent		



The checks are summarized below. The values resulting from the calculations, relating to each verification, are reported in the form of a percentage.

Floor name	Section	J_{eff} [mm ⁴]	M_{3-3} [kNm]	$k_{mod,fi}$	$\gamma_{M,fi}$	k_{fi}	$f_{m,d,fi}$ [MPa]	$\sigma_{m,d,fi}$ [MPa]	Check
Piso 1	CLT floor 2	95714613	3.03	1	1	1.15	27.60	2.03	7%
Floor 2	CLT floor 2	95714613	3.03	1	1	1.15	27.60	2.03	7%

Shear strength

Shear strength of the layers parallel to the calculation direction

The checks are conducted according to § 6.1.7 of EN 1995-1-1 using the effective cross section according to 4.2.2 of EN 1995-1-2. The following expression shall be satisfied:

$$\frac{\tau_{v,d,fi}}{f_{v,d,fi}} \leq 1$$

being:

$\tau_{v,d,fi}$ the design shear stress in the fire situation;

$f_{v,d,fi}$ the design shear strength in fire.

The maximum design shear stress in the longitudinal layers can be evaluated using the following expression:

$$\tau_{v,d,fi} = \frac{V_{d,fi} \cdot S_{max,eff}}{J_{eff} \cdot b}$$

where

$V_{d,fi}$ is the total shear force at the location in question in the fire situation;

$S_{max,eff}$ is the static moment of area of the effective CLT cross section;

J_{eff} is the moment of inertia of the effective CLT element cross section;

b is the width of the CLT element cross section ($k_{cr} = 1$).

Rolling shear strength of the transversal layers

The checks are conducted according to § 6.1.7 of EN 1995-1-1 using the effective cross section according to 4.2.2 of EN 1995-1-2. The following expression shall be satisfied:

$$\frac{\tau_{R,d,fi}}{f_{v,R,d,fi}} \leq 1$$

where

$\tau_{R,d,fi}$ the design rolling shear stress in the fire situation;

$f_{v,R,d,fi}$ the design shear strength in fire.

The maximum design shear stress in the transversal layers can be evaluated using the following expression:

$$\tau_{R,d,fi} = \frac{V_{d,fi} \cdot S_{R,max,eff}}{J_{eff} \cdot b}$$

where

$V_{d,fi}$ is the total shear force at the location in the fire situation;

$S_{R,max,fi}$ is the statical moment of area;

J_{eff} is the moment of inertia of the effective CLT element cross section;

b is the width of the CLT element cross section ($k_{cr} = 1$).

The following table illustrates the structural schemes and the envelopes of the diagram of the shear force for the part of each floor with the most sever checks.

Floor name	Combination	Diagram V_2	Shear stresses
Piso 1	Quasi permanent		
Floor 2	Quasi permanent		

The checks are summarized below. The values resulting from the calculations, relating to each verification, are reported in the form of a percentage.

Floor name	Cross section	J_{off} [mm ⁴]	V_2 [kN]	$k_{mod,fi}$	$\gamma_{M,fi}$	k_{fi}	$f_{v,d,fi}$ [MPa]	$\tau_{v,d,fi}$ [MPa]	Check	$f_{R,d,fi}$ [MPa]	$\tau_{R,d,fi}$ [MPa]	Check
Piso 1	CLT floor 2	95714613	6.13	1	1	1.15	4.60	0.08	2%	1.21	0.08	6%
Floor 2	CLT floor 2	95714613	6.13	1	1	1.15	4.60	0.08	2%	1.21	0.08	6%

Timber beams checks in the fire situation

Bending strength

The checks are conducted according to § 6.3.2 of EN 1995-1-1. The following expression shall be satisfied using the effective cross sections of the elements according to 4.2.2 of EN 1995-1-2:

$$\frac{\sigma_{m,d,fi}}{k_{crit,fi} \cdot f_{m,d,fi}} \leq 1$$

where

$\sigma_{m,d,fi}$ is the design bending stress in the fire situation;

$f_{m,d,fi}$ is the design bending strength in fire;

k_{crit} is a factor which takes into account the reduced bending strength due to lateral buckling.

The factor k_{crit} is assumed equal to 1.0 for beams in which the lateral displacement of the compressed edge is prevented over the entire length and the torsional rotation is prevented at the supports. Otherwise, the factor is determined from the following expression:

$$k_{crit,fi} = \begin{cases} 1 & \text{for } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m,fi} & \text{for } 0,75 \leq \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} & \text{for } 1,4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases}$$

in which the relative slenderness for bending is taken as:

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,fi}}}$$

and $\sigma_{m,crit,fi}$, the critical bending stress calculated according to the classical theory of stability is taken as:

$$\sigma_{m,crit,fi} = \frac{M_{y,crit,fi}}{W_{y,fi}} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,20} I_{z,fi} G_{0,20} I_{tor,fi}}}{l_{ef,fi} W_{y,fi}}$$

where

$E_{0,20}$ 20% fractile of modulus of elasticity parallel to grain;

$G_{0,20}$ 20% fractile of shear modulus parallel to grain;

$I_{z,fi}$ is the second moment of area about the weak axis z in fire;

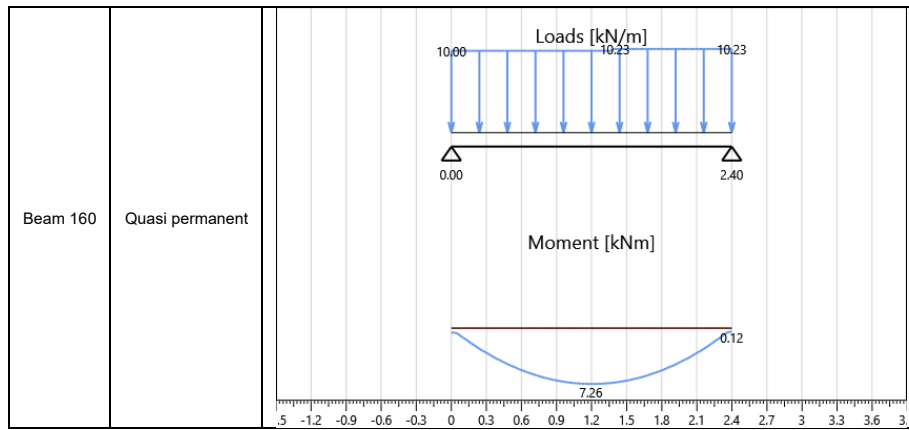
$I_{tor,fi}$ is the torsional moment of inertia in fire;

$l_{ef,fi}$ is the effective length of the beam, depending on the support conditions and the load configuration, in the fire situation;

$W_{y,fi}$ is the section modulus about the strong axis y in the fire situation.

The following table shows, for each beam, the bending moment relating to the fire situation.

Beam	Combination	Diagram M ₃₋₃
Beam 157	Quasi permanent	
Beam 158	Quasi permanent	
Beam 159	Quasi permanent	



The checks are summarized below. The values resulting from the calculations, relating to each verification, are reported in the form of a percentage.

Beam name	Section	M _{3-3 max} [kNm]	W _{y,fl} [mm ³]	Lateral restraints	σ _{m,crit,fl} [MPa]	k _{crit,fl}	k _h	k _{mod,fl}	γ _{M,fl}	k _{fl}	f _{m,d,fl} [MPa]	σ _{m,d,fl} [MPa]	Check
Beam 157	Timber section	7.29	693120	No torsional buckling	-	1.00	1	1	1	1.15	27.60	10.52	38%
Beam 158	Timber section	7.35	693120	No torsional buckling	-	1.00	1	1	1	1.15	27.60	10.61	38%
Beam 159	Timber section	7.41	693120	No torsional buckling	-	1.00	1	1	1	1.15	27.60	10.70	39%
Beam 160	Timber section	7.26	693120	No torsional buckling	-	1.00	1	1	1	1.15	27.60	10.47	38%

Shear strength

The checks are conducted according to § 6.1.7 of EN 1995-1-1 using the effective cross section according to 4.2.2 of EN 1995-1-2. The following expression shall be satisfied:

$$\frac{\tau_{d,fi}}{f_{v,d,fi}} \leq 1$$

where

$\tau_{d,fi}$ is the design shear stress in the fire situation;

$f_{v,d,fi}$ is the design shear strength in fire.

For the verification of shear resistance of members in bending, the influence of cracks should be taken into account using an effective width of the member $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$.

The maximum design shear stress in a rectangular cross section can be evaluated using the following expression:

$$\tau_{d,fi} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d,fi}}{k_{cr} \cdot A_{eff}}$$

where A_{eff} is the area of the beam effective cross section.

The following table illustrates the structural schemes and the envelopes of the shear force diagram for each beam.

Beam name	Combination	Diagram V ₂
Beam 157	Quasi permanent	<p>Diagram V₂ for Beam 157. The beam has a length of 2.40 m. The load is a uniformly distributed load of 10.34 kN/m. The shear force starts at 12.05 kN at the left support (x=0.00) and decreases linearly to -12.17 kN at the right support (x=2.40).</p>
Beam 158	Quasi permanent	<p>Diagram V₂ for Beam 158. The beam has a length of 2.40 m. The load is a uniformly distributed load of 10.34 kN/m. The shear force starts at 12.19 kN at the left support (x=0.00) and decreases linearly to -12.03 kN at the right support (x=2.40).</p>
Beam 159	Quasi permanent	<p>Diagram V₂ for Beam 159. The beam has a length of 2.40 m. The load is a uniformly distributed load of 10.34 kN/m. The shear force starts at 12.28 kN at the left support (x=0.00) and decreases linearly to -12.21 kN at the right support (x=2.40).</p>
Beam 160	Quasi permanent	<p>Diagram V₂ for Beam 160. The beam has a length of 2.40 m. The load is a uniformly distributed load of 10.23 kN/m. The shear force starts at 11.95 kN at the left support (x=0.00) and decreases linearly to -12.08 kN at the right support (x=2.40).</p>

The checks are summarized below. The values resulting from the calculations, relating to each verification, are reported in the form of a percentage.

Beam name	Section	$V_{2 \max}$ [kN]	A_{eff} [mm ²]	$k_{\text{cr,fl}}$	$k_{\text{mod,fl}}$	$\gamma_{\text{M,fl}}$	k_{fl}	$f_{\text{v,d,fl}}$ [MPa]	$\tau_{\text{z,d,fl}}$ [MPa]	Check
Beam 157	Timber section	12.17	27360	0.67	1	1	1.15	4.03	1.00	25%
Beam 158	Timber section	12.19	27360	0.67	1	1	1.15	4.03	1.00	25%
Beam 159	Timber section	12.28	27360	0.67	1	1	1.15	4.03	1.00	25%
Beam 160	Timber section	12.08	27360	0.67	1	1	1.15	4.03	0.99	25%

CLT walls checks in the fire situation

Buckling of CLT walls

The stability checks of CLT walls are conducted with reference to what reported in 6.3.2 of EN 1995-1-1 using the effective cross sections of the elements according to 4.2.2 of EN 1995-1-2.

The values of the actions in the table below are related, for each wall, to the fire situation.

Wall name	Length [m]	Comb.	N [kN]	M2-2 [kNm]
Wall 30	0.60	Quasi permanent	2.11	0.00
Wall 31	0.60	Quasi permanent	14.27	0.00
Wall 32	0.60	Quasi permanent	14.27	0.00
Wall 33	0.60	Quasi permanent	2.11	0.00
Wall 37	0.60	Quasi permanent	2.11	0.00
Wall 38	0.60	Quasi permanent	2.11	0.00
Wall 39	0.60	Quasi permanent	2.11	0.00
Wall 40	0.60	Quasi permanent	14.41	0.00
Wall 41	0.60	Quasi permanent	14.41	0.00
Wall 42	0.60	Quasi permanent	2.11	0.00
Wall 43	0.60	Quasi permanent	2.11	0.00
Wall 44	0.60	Quasi permanent	14.28	0.00
Wall 45	0.60	Quasi permanent	2.11	0.00
Wall 46	0.60	Quasi permanent	14.28	0.00
Wall 47	0.60	Quasi permanent	2.11	0.00
Wall 48	0.60	Quasi permanent	2.11	0.00
Wall 49	0.60	Quasi permanent	2.11	0.00
Wall 50	0.60	Quasi permanent	14.38	0.00
Wall 51	0.60	Quasi permanent	14.38	0.00
Wall 52	0.60	Quasi permanent	2.11	0.00
Wall 58	0.60	Quasi permanent	1.80	0.00
Wall 59	0.60	Quasi permanent	0.86	0.00
Wall 60	0.60	Quasi permanent	0.68	0.00
Wall 61	0.60	Quasi permanent	1.99	0.00
Wall 66	0.60	Quasi permanent	1.98	0.00
Wall 67	0.60	Quasi permanent	8.06	0.00
Wall 68	0.60	Quasi permanent	8.06	0.00
Wall 69	0.60	Quasi permanent	1.98	0.00
Wall 70	0.60	Quasi permanent	1.98	0.00
Wall 71	0.60	Quasi permanent	1.98	0.00
Wall 72	0.60	Quasi permanent	1.98	0.00
Wall 73	0.60	Quasi permanent	8.13	0.00
Wall 74	0.60	Quasi permanent	8.13	0.00
Wall 75	0.60	Quasi permanent	1.98	0.00
Wall 80	0.60	Quasi permanent	1.98	0.00
Wall 81	0.60	Quasi permanent	8.05	0.00
Wall 82	0.60	Quasi permanent	8.05	0.00
Wall 83	0.60	Quasi permanent	1.98	0.00
Wall 84	0.60	Quasi permanent	1.98	0.00
Wall 85	0.60	Quasi permanent	1.98	0.00
Wall 86	0.60	Quasi permanent	1.98	0.00
Wall 87	0.60	Quasi permanent	8.12	0.00
Wall 88	0.60	Quasi permanent	8.12	0.00
Wall 89	0.60	Quasi permanent	1.98	0.00
Wall 212	0.60	Quasi permanent	1.80	0.00
Wall 214	0.60	Quasi permanent	1.93	0.00
Wall 215	0.60	Quasi permanent	2.05	0.00
Wall 221	0.80	Quasi permanent	2.61	0.00
Wall 227	1.00	Quasi permanent	0.06	0.00
Wall 232	1.20	Quasi permanent	1.45	0.00

The stability checks of the CLT panels are performed considering a wall portion of unitary length.

Where both $\lambda_{\text{rel,z}} \leq 0,3$ and $\lambda_{\text{rel,y}} \leq 0,3$, the stresses should satisfy the expressions (6.19) and (6.20) in 6.2.4 of EN 1995-1-1.

In all other cases the stresses, which will be increased due to deflection, should satisfy the following expressions:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} \leq 1$$

The results of the stability checks are reported below expressed as percentages.

A_{eff} : Effective cross sectional area of the wall portion considered in the verification (linear meter)

J_{eff} : Cross sectional effective moment of inertia of the wall portion

$k_{mod,fi}$: Modification factor for fire

$\gamma_{M,fi}$: Partial factor for a material property in fire

$f_{c,0,d,fi}$: Design compressive strength along the grain in fire

$f_{m,d,fi}$: Design bending strength in fire

$\sigma_{c,0,d,fi}$: Design compressive stress along the grain for the fire situation

Wall name	Section	h [m]	A_{eff} [mm ² /m]	J_{eff} [mm ⁴ /m]	$k_{c,fi}$	$k_{mod,fi}$	$\gamma_{M,fi}$	k_{fi}	$f_{c,0,k}$ [MPa]	$f_{m,k}$ [MPa]	$\sigma_{c,0,d,fi}$ [MPa]	$\sigma_{m,d,fi}$ [MPa]	Check
Wall 30	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.09	0.00	0%
Wall 31	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.53	0.00	2%
Wall 32	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.59	0.00	2%
Wall 33	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.09	0.00	0%
Wall 37	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.09	0.00	0%
Wall 38	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.09	0.00	0%
Wall 39	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.09	0.00	0%
Wall 40	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.53	0.00	2%
Wall 41	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.59	0.00	2%
Wall 42	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.09	0.00	0%
Wall 43	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.09	0.00	0%
Wall 44	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.53	0.00	2%
Wall 45	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.09	0.00	0%
Wall 46	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.59	0.00	2%
Wall 47	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.09	0.00	0%
Wall 48	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.09	0.00	0%
Wall 49	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.09	0.00	0%
Wall 50	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.53	0.00	2%
Wall 51	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.59	0.00	2%
Wall 52	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.09	0.00	0%
Wall 58	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.07	0.00	0%
Wall 59	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.04	0.00	0%
Wall 60	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.03	0.00	0%
Wall 61	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	0%
Wall 66	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	2%
Wall 67	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.33	0.00	7%
Wall 68	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.33	0.00	7%
Wall 69	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	2%
Wall 70	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	2%
Wall 71	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	2%
Wall 72	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	2%
Wall 73	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.33	0.00	7%
Wall 74	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.33	0.00	7%
Wall 75	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	2%
Wall 80	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	2%
Wall 81	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.33	0.00	7%
Wall 82	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.33	0.00	7%
Wall 83	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	2%
Wall 84	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	2%
Wall 85	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	2%
Wall 86	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	2%
Wall 87	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.33	0.00	7%
Wall 88	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.33	0.00	7%
Wall 89	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	2%
Wall 212	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.07	0.00	2%
Wall 214	CLT 100MM	3.0	40000	17333333	0.18	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	2%
Wall 215	CLT 100MM	3.2	40000	17333333	0.16	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	2%
Wall 221	CLT 100MM	3.2	40000	17333333	0.16	1	1	1.15	21	24	0.08	0.00	2%
Wall 227	CLT 100MM	0.2	40000	17333333	1.00	1	1	1.15	21	24	0.00	0.00	0%
Wall 232	CLT 100MM	1.1	40000	17333333	0.88	1	1	1.15	21	24	0.03	0.00	0%

Connections

Hold Down – Connections at the base of the structure

The design resistance R_d of the hold-downs is determined as the minimum value among the resistances relating to the following failure modes:

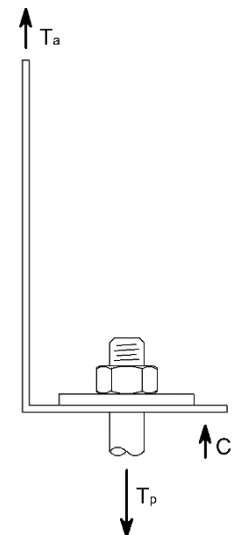
- nailing failure;
- hold-downs steel failure;
- failure of the concrete anchors.

Forces on the hold-downs

The tension force acting on the hold down (T_a) is evaluated as described in paragraph “Model Description”.

The tension force acting on the concrete anchors is calculated taking into account the additional moment due to the non-alignment between the external force acting on the vertical flange of the hold down and the anchors themselves using a coefficient, indicated as k_t .

$$T_p = T_a \cdot k_t$$



Wall name	Length [m]	Connection name	N° of anchors at each wall end	Comb.	Dur.	N [kN]	M _{s,3} [kNm]	T _a [kN]	k _t	T _p [kN]
Wall 30	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.11	1.85	0.34	1	0.34
Wall 31	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 1	Instantaneous	12.09	0.79	0.00	1	0.00
Wall 32	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 1	Instantaneous	12.09	0.79	0.00	1	0.00
Wall 33	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.11	1.85	0.34	1	0.34
Wall 37	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.11	1.85	0.34	1	0.34
Wall 38	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.11	1.85	0.34	1	0.34
Wall 39	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.11	1.85	0.34	1	0.34
Wall 40	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 1	Instantaneous	12.21	0.79	0.00	1	0.00
Wall 41	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 1	Instantaneous	12.21	0.79	0.00	1	0.00
Wall 42	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.11	1.85	0.34	1	0.34
Wall 43	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.11	1.85	0.34	1	0.34
Wall 44	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 1	Instantaneous	12.10	0.79	0.00	1	0.00
Wall 45	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.11	1.85	0.34	1	0.34
Wall 46	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 1	Instantaneous	12.10	0.79	0.00	1	0.00
Wall 47	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.11	1.85	0.34	1	0.34
Wall 48	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.11	1.85	0.34	1	0.34
Wall 49	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.11	1.85	0.34	1	0.34
Wall 50	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 1	Instantaneous	12.19	0.79	0.00	1	0.00
Wall 51	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 1	Instantaneous	12.19	0.79	0.00	1	0.00
Wall 52	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.11	1.85	0.34	1	0.34
Wall 58	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	1.86	14.18	3.78	1	3.78
Wall 59	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.86	1.14	0.25	1	0.25
Wall 60	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.71	1.14	0.26	1	0.26
Wall 61	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.01	14.18	3.77	1	3.77
Wall 215	0.60	Ligação piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.06	15.84	4.23	1	4.23

Nailing resistance

The design value of the load-bearing capacity of the nailing is given by the following expression

$$R_{c,d} = \frac{k_{mod} \cdot R_{c,k,dens}}{\gamma_M}$$

where

$R_{c,k,dens}$ is the characteristic value of the nailing resistance. This value is reduced by the k_{dens} factor when the density of the material used is less than 350 kg/m^3 . k_{dens} can be evaluated using the formula

$$R_{c,k,dens} = R_{c,k} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^2;$$

k_{mod} is the modification factor taking into account the effect of the duration of load and moisture content;

γ_M is the is the partial factor for the connections.

Hold-down steel resistance

The tensile design strength of the hold-down can be evaluated according to the formula

$$R_{s,d} = \frac{R_{s,k}}{\gamma_{M2}}$$

where

$R_{s,k}$ is the characteristic value of the resistance of the hold-down;

γ_{M2} is the partial factor for resistance of cross-sections in tension to fracture.

Tension resistance of the concrete anchors

The tension resistance of the concrete anchors can be evaluated according to the formula

$$R_{p,d} = \frac{R_{p,k}}{\gamma}$$

where

$R_{p,k}$ is the characteristic value of the resistance of the concrete anchors;

γ is the safety factor.

The checks are summarized in the following table which shows the characteristic values of the resistances associated with collapse of the various components.

Name: Name of the connection in which the hold-down is used

Comb.: The most severe combination of load

$T_{a,d}$: Design value of the tensile force acting on the hold down

$T_{p,d}$: Design value of the tensile force acting on the concrete anchors

k_{mod} : Modification factor taking into account the effect of the duration of load and moisture content

$k_{R,deg}$: Resistance degradation coefficient due to cyclic actions

γ_M : Partial safety factor

$R_{a,d}$: Design value of the hold down resistance, assumed to be the lower of the values of the design resistance of all the failure mechanisms associated with it

$R_{p,d}$: Design value of the concrete anchors resistance

$$T_{a,d} \leq R_{a,d} = \min(R_{c,d}; R_{s,d})$$

$$T_{p,d} \leq R_{p,d}$$

Wall name	Connection name	Comb.	Service class	$T_{a,d}$ [kN]	$R_{c,k,dens}$ [kN]	$R_{s,k}$ [kN]	k_{mod}	$k_{R,deg}$	γ_M	γ_{M2}	$R_{a,d}$ [kN]	$T_{p,d}$ [kN]	$R_{p,k}$ [kN]	γ	$R_{p,d}$ [kN]	Failure mode	Check
Wall 30	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.34	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	0.34	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	0%
Wall 31	Ligação piso 0	Horizontal ULS 1	1	0.00	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	-	0.00	163.5	1.5	-	-	0%
Wall 32	Ligação piso 0	Horizontal ULS 1	1	0.00	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	-	0.00	163.5	1.5	-	-	0%
Wall 33	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.34	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	0.34	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	0%
Wall 37	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.34	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	0.34	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	0%
Wall 38	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.34	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	0.34	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	0%
Wall 39	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.34	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	0.34	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	0%
Wall 40	Ligação piso 0	Horizontal ULS 1	1	0.00	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	-	0.00	163.5	1.5	-	-	0%
Wall 41	Ligação piso 0	Horizontal ULS 1	1	0.00	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	-	0.00	163.5	1.5	-	-	0%
Wall 42	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.34	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	0.34	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	0%
Wall 43	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.34	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	0.34	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	0%
Wall 44	Ligação piso 0	Horizontal ULS 1	1	0.00	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	-	0.00	163.5	1.5	-	-	0%
Wall 45	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.34	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	0.34	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	0%
Wall 46	Ligação piso 0	Horizontal ULS 1	1	0.00	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	-	0.00	163.5	1.5	-	-	0%
Wall 47	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.34	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	0.34	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	0%
Wall 48	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.34	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	0.34	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	0%
Wall 49	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.34	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	0.34	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	0%
Wall 50	Ligação piso 0	Horizontal ULS 1	1	0.00	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	-	0.00	163.5	1.5	-	-	0%
Wall 51	Ligação piso 0	Horizontal ULS 1	1	0.00	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	-	0.00	163.5	1.5	-	-	0%
Wall 52	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.34	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	0.34	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	0%
Wall 58	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	3.78	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	3.78	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	4%
Wall 59	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.25	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	0.25	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	0%
Wall 60	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.26	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	0.26	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	0%
Wall 61	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	3.77	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	3.77	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	4%
Wall 215	Ligação piso 0	Horizontal ULS 4	1	4.23	117.75	158.6	1.1	1	1.3	1.25	99.63	4.23	163.5	1.5	109.00	Tensile: nailing	4%

Connections with punched metal plate/punched strap

The design resistance R_d of a punched strap is determined as the minimum value among the resistances relating to the following failure modes:

- nailing failure;
- punched strap steel failure.

Forces on the tie-downs

The tension force acting on the punched metal plate (T_a) is evaluated as described in paragraph “Model Description”.

Wall name	Length [m]	Connection name	N° of connections at each wall end	Comb.	Dur.	N [kN]	M _{3,3} [kNm]	T _a [kN]
Wall 66	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 4	Instantaneous	1.98	1.40	0.34
Wall 67	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 1	Instantaneous	6.97	0.69	0.00
Wall 68	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 1	Instantaneous	6.97	0.69	0.00
Wall 69	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 4	Instantaneous	1.98	1.40	0.34
Wall 70	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 4	Instantaneous	1.98	1.40	0.34
Wall 71	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 4	Instantaneous	1.98	1.40	0.34
Wall 72	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 4	Instantaneous	1.98	1.40	0.34
Wall 73	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 1	Instantaneous	7.03	0.69	0.00
Wall 74	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 1	Instantaneous	7.03	0.69	0.00
Wall 75	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 4	Instantaneous	1.98	1.40	0.34
Wall 80	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 4	Instantaneous	1.98	1.40	0.34
Wall 81	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 1	Instantaneous	6.96	0.69	0.00
Wall 82	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 1	Instantaneous	6.96	0.69	0.00
Wall 83	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 4	Instantaneous	1.98	1.40	0.34
Wall 84	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 4	Instantaneous	1.98	1.40	0.34
Wall 85	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 4	Instantaneous	1.98	1.40	0.34
Wall 86	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 4	Instantaneous	1.98	1.40	0.34
Wall 87	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 1	Instantaneous	7.02	0.69	0.00
Wall 88	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 1	Instantaneous	7.02	0.69	0.00
Wall 89	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 4	Instantaneous	1.98	1.40	0.34
Wall 212	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 4	Instantaneous	1.83	13.04	5.20
Wall 214	0.60	Ligação Superior Tração	4	Horizontal ULS 4	Instantaneous	1.94	13.04	5.19

Punched strap tensile resistance

The tensile resistance of the punched element is evaluated on the basis of the indications of 6.2.3 EN 1993-1-1. For sections with holes the design tension resistance $N_{t,Rd}$ should be taken as the smaller of the design plastic resistance of the gross cross-section and the design ultimate resistance of the net cross-section at holes for fasteners.

The design plastic resistance of the gross cross-section is calculated as

$$R_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

where

A is the area of the gross cross-section;

f_y is the nominal values of the yield strength of steel;

γ_{M0} is the partial factor for resistance of cross-sections.

The net cross section resistance can be evaluated using the following expression:

$$R_{u,Rd} = \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

where

A_{net} is the cross sectional net area;

f_u is the ultimate strength of the yield strength of steel;

γ_{M2} is the partial factor for resistance of cross-sections in tension to fracture.

Nailing resistance

The characteristic resistance of the connection was calculated as the product between the effective number of fasteners inserted and bearing capacity of the single fastener

$$R_{c,k} = n_{ef} \cdot R_{k,conn}$$

where the bearing capacity of the single fastener $R_{conn,k}$ is evaluated using Johansen theory and the effective number of fasteners is evaluated in accordance with 8.3.1.1 (8) and 8.5.1.1 (4) – EN 1995-1-1.

Wall name	Connection name	Number of rows	Number of fasteners in a row	Fasteners spacing in one row [mm]	Effective number of fasteners	$R_{conn,k}$ [kN]	$R_{c,k}$ [kN]
Wall 66	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 67	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 68	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 69	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 70	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 71	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 72	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 73	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 74	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 75	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 80	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 81	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 82	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 83	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 84	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 85	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 86	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 87	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 88	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 89	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 212	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06
Wall 214	Ligação Superior Tração	80	50	800	4000	2.17	8684.06

The design value of the load-bearing capacity is given by

$$R_{c,d} = \frac{k_{mod} \cdot R_{c,k}}{\gamma_M}$$

where

$R_{c,k}$ is the characteristic resistance of the fastener;

k_{mod} is the modification factor taking into account the effect of the duration of load and moisture content;

γ_M is the partial factor for connections.

The checks are summarized in the following table which shows the characteristic values of resistance associated with the different failure modes of the components.

Name: Name of the connection in which the punched strap is used

Comb.: The most severe combination of load

T_a : Design force acting on the connection

k_{mod} : Modification factor taking into account the effect of the duration of load and moisture content

$k_{R,deg}$: Resistance degradation coefficient due to cyclic actions

γ_M : Partial safety factor

R_d : Design value of the resistance, assumed to be the lower of the values of the design resistance of all the failure mechanisms considered

$$T_{Ed} \leq \min(R_{pl,Rd}; R_{u,d}; R_{c,d})$$

Wall name	Connection name	Comb.	Service Class	T_a [kN]	$R_{c,k}$ [kN]	$R_{pl,k}$ [kN]	$R_{u,k}$ [kN]	k_{mod}	$k_{R,deg}$	γ_M	γ_{M0}	γ_{M2}	R_d [kN]	Failure mode	Check
Wall 66	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 4	1	0.34	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	132.58	Tensile: net steel section	0%
Wall 67	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 1	1	0.00	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	-	-	0%
Wall 68	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 1	1	0.00	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	-	-	0%
Wall 69	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 4	1	0.34	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	132.58	Tensile: net steel section	0%
Wall 70	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 4	1	0.34	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	132.58	Tensile: net steel section	0%
Wall 71	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 4	1	0.34	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	132.58	Tensile: net steel section	0%
Wall 72	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 4	1	0.34	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	132.58	Tensile: net steel section	0%
Wall 73	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 1	1	0.00	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	-	-	0%
Wall 74	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 1	1	0.00	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	-	-	0%
Wall 75	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 4	1	0.34	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	132.58	Tensile: net steel section	0%
Wall 80	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 4	1	0.34	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	132.58	Tensile: net steel section	0%
Wall 81	Ligação Superior Tração	H	1	0.00	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	-	-	0%

		horizontal ULS 1													
Wall 82	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 1	1	0.00	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	-	-	0%
Wall 83	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 4	1	0.34	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	132.58	Tensile: net steel section	0%
Wall 84	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 4	1	0.34	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	132.58	Tensile: net steel section	0%
Wall 85	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 4	1	0.34	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	132.58	Tensile: net steel section	0%
Wall 86	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 4	1	0.34	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	132.58	Tensile: net steel section	0%
Wall 87	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 1	1	0.00	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	-	-	0%
Wall 88	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 1	1	0.00	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	-	-	0%
Wall 89	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 4	1	0.34	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	132.58	Tensile: net steel section	0%
Wall 212	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 4	1	5.20	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	132.58	Tensile: net steel section	4%
Wall 214	Ligação Superior Tração	Horizontal ULS 4	1	5.19	8684.06	191.25	165.73	1.1	1	1.3	1	1.25	132.58	Tensile: net steel section	4%

Angle brackets with anchors – timber to concrete shear connections

The design resistance R_d of an angle bracket is determined as the minimum value among the resistances relating to the following failure modes:

- shear failure of the angle and/or of the group of fasteners of the connection;
- shear failure of the anchors connecting the concrete.

Shear forces

The shear force acting on the single angle bracket is calculated by dividing the total shear force V_2 by the number of angle brackets present in the wall (taking into account the possible presence of angle brackets on both sides of the structural element).

$$V_a = \frac{V_2}{n_{anc}}$$

where

V_2 is the design shear force on the considered wall;

n_{anc} is the number of shear connections present in the wall.

The shear force acting on the concrete anchors of each angle bracket is equal to V_a .

Wall name	Length [m]	Connection name	N of connections	Comb.	Dur.	V_2 [kN]	V_a [kN]
Wall 30	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 31	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 32	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 33	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 37	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 38	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 39	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37

Wall 40	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 41	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 42	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 43	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 44	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 45	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 46	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 47	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 48	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 49	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 50	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 51	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 52	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	2.23	0.37
Wall 58	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	5.70	0.95
Wall 59	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	5.70	0.95
Wall 60	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	5.70	0.95
Wall 61	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	5.70	0.95
Wall 215	0.60	Ligação Piso 0	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	4.95	0.83

Angle bracket bearing capacity

The design value of the shear bearing capacity of the angle bracket can be estimated from the characteristic value by means of the following expression

$$R_{a,d} = \frac{k_{mod} \cdot R_{a,k,dens}}{\gamma_M}$$

where

$R_{a,k,dens}$ is the characteristic value of the nailing resistance. This value is reduced by the k_{dens} factor when the density of the material used is less than 350 kg/m³. k_{dens} can be evaluated using the formula $R_{a,k,dens} = R_{a,k} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^2$.

Shear resistance of the concrete anchors

The shear resistance of the concrete anchors is evaluated by the following formula

$$R_{p,d} = \frac{R_{p,k}}{\gamma}$$

where

$R_{p,k}$ is the characteristic value of the shear resistance of the concrete anchors;

γ is the safety factor.

The checks are summarized in the following table which illustrates the characteristic values of the resistances associated to the different components and their design values.

Name: Name of the connection in which the angle bracket is used

Comb.: The most severe combination of load

$V_{a,d}$: Shear force acting on the angle bracket and on the concrete anchors

k_{mod} : Modification factor taking into account the effect of the duration of load and moisture content

$k_{R,deg}$: Resistance degradation coefficient due to cyclic actions

γ_M : Partial safety factor

$R_{a,d}$: Design value of the angle bracket resistance

$R_{p,d}$: Design value of the concrete anchors resistance

$$V_{a,d} \leq R_{a,d}$$

$$V_{a,d} \leq R_{p,d}$$

Wall name	Connection name	Comb.	Service class	$V_{a,d}$ [kN]	$R_{a,k,dens}$ [kN]	k_{mod}	$k_{R,deg}$	γ_M	$R_{a,d}$ [kN]	$R_{p,k}$ [kN]	γ	$R_{p,d}$ [kN]	Failure mode	Check
Wall 30	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 31	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 32	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 33	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 37	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 38	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 39	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 40	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 41	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 42	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 43	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 44	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 45	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 46	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 47	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 48	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 49	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 50	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 51	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%

Wall 52	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.37	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	1%
Wall 58	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.95	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	3%
Wall 59	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.95	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	3%
Wall 60	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.95	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	3%
Wall 61	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.95	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	3%
Wall 215	Ligação Piso 0	Horizontal ULS 4	1	0.83	35.80	1.1	1	1.3	30.29	67.1	1.25	53.68	Shear: connection element	3%

Angle brackets – timber to timber shear connections

The design resistance R_d of an angle bracket is determined as the resistance of the following failure mode:

- shear failure of the angle and/or of the group of fasteners of the connection.

Shear forces

The shear force acting on the single angle bracket is calculated by dividing the total shear force V_2 by the number of angle brackets present in the wall (taking into account the possible presence of angle brackets on both sides of the structural element).

$$V_a = \frac{V_2}{n_{anc}}$$

where

V_2 is the design shear force on the considered wall;

n_{anc} is the number of shear connections present in the wall.

Wall name	Length [m]	Connection name	N of connections	Comb.	Dur.	V2 [kN]	Va [kN]
Wall 66	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 67	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 68	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 69	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 70	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 71	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 72	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 73	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 74	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 75	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 80	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 81	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 82	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 83	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 84	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 85	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 86	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 87	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 88	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 89	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	0.47	0.08
Wall 212	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	4.35	0.72
Wall 214	0.60	Ligação shear superior	6	Horizontal ULS 4	Instantaneous	4.35	0.72

Angle bracket bearing capacity

The design value of the shear strength of the anchor is evaluated as

$$R_{a,d} = \frac{k_{mod} \cdot R_{a,k,dens}}{\gamma_M}$$

where

$R_{a,k,dens}$ is the characteristic value of the nailing resistance. This value is reduced by the k_{dens} factor when the density of the material used is less than 350 kg/m^3 . k_{dens} can be evaluated using the formula

$$R_{a,k,dens} = R_{a,k} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^2;$$

k_{mod} is the modification factor taking into account the effect of the duration of load and moisture content;

γ_M is the partial factor for connections.

The checks are summarized in the following table which illustrates the characteristic values of the resistance associated to the angle brackets and their design values. The following expression shall be satisfied:

$$V_{a,d} \leq R_{a,d}$$

Name: Name of the connection in which the angle bracket is used

Comb.: The most severe combination of load

$V_{a,d}$: Design value of the force acting on the single angular

k_{mod} : Modification factor taking into account the effect of the duration of load and moisture content

$k_{R,deg}$: Resistance degradation coefficient due to cyclic actions

γ_M : Partial safety factor

Wall name	Connection name	Comb.	Service Class	$V_{a,d}$ [kN]	$R_{a,k,dens}$ [kN]	k_{mod}	$k_{R,deg}$	γ_M	$R_{a,d}$ [kN]	Check
Wall 66	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 67	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 68	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 69	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 70	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 71	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 72	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 73	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 74	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 75	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 80	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 81	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 82	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 83	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 84	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 85	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 86	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 87	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 88	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 89	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.08	50.50	1.1	1	1.3	42.73	0%
Wall 212	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.72	50.50	1.1	1	1.3	42.73	2%
Wall 214	Ligação shear superior	Horizontal ULS 4	1	0.72	50.50	1.1	1	1.3	42.73	2%

Damage Limitation - DLS

The “damage limitation requirement” is considered to have been satisfied, if, under a seismic action having a larger probability of occurrence than the design seismic action corresponding to the “no-collapse requirement” the interstorey drifts are limited in accordance with the following equation:

$$d_r < d_{r,lim} = 0.005 h$$

d_r is the interstorey drift obtained applying the reduction factor $\nu = 0.4$ to the design ground acceleration a_g on type A ground;

h is the storey height.

The table below shows the seismic checks for the Damage Limit State.

Wall name: Wall ID

h: Storey height

Comb.: The most severe combination of load

d_r : Evaluated interstorey drift

$d_{r,lim}$: Interstorey drift lim

Wall	h [m]	Comb.	d_r [mm]	d_{lim} [mm]	Verifica
Wall 30	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 31	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 32	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 33	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 37	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 38	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 39	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 40	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 41	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 42	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 43	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 44	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 45	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 46	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 47	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 48	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 49	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 50	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 51	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 52	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 58	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 59	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 60	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 61	0.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	1.00	0%
Wall 66	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 67	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 68	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 69	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 70	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 71	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 72	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 73	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 74	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 75	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 80	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 81	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 82	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 83	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 84	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 85	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 86	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 87	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 88	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 89	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%

Wall 212	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 214	3.00	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	15.00	0%
Wall 215	3.20	Dynamic SLD 6 ex+ ey+	0.00	16.00	0%

UBAKUS



The use of this document is permitted for educational purposes only.
Created with the version for study and teaching. Licensed for Bruna Ribeiro.

Calculations for thermal insulation, moisture protection and heat protection

Content

Component	U-value W/m ² K	Condensate kg	TA- Attenuation	Thickness cm	Weight kg/m ²	Page
1 Módulo Piso	0,22	0,031	100,0	34,03	108,9	2
2 Módulo Cobertura	0,19	0,056	112,4	39,03	103,8	11
3 Módulo Paredes Exteriores	0,23	0,117	33,1	30,03	75,8	20
4 Módulo Paredes Chuveiro	0,23	0,066	46,5	31,03	95,8	29
5 Parede entre casas de banho	0,23	0,066	47,2	32,03	115,8	37

Comparison with different maximum values*

Component	GEG 2020 Bestand	BEG Einzelmaßn.	GEG 2020 Neubau	DIN 4108
Módulo Piso	✓		✓	✓
Módulo Cobertura	✓			✓
Módulo Paredes Exteriores	✓			✓
Módulo Paredes Chuveiro	✓			✓
Parede entre casas de banho	✓			✓

*Comparison of the U-value with den Höchstwerten aus GEG 2020 Anlage 7 (GEG 2020 Bestand); den techn. Mindestanforderungen für BEG Einzelmaßnahmen; 80% des U-Werts der Referenzausführung aus GEG 2020 Anlage 1 (GEG20 Neubau); den R-Werten aus DIN 4108-2 Tabelle 3

$U = 0,22 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

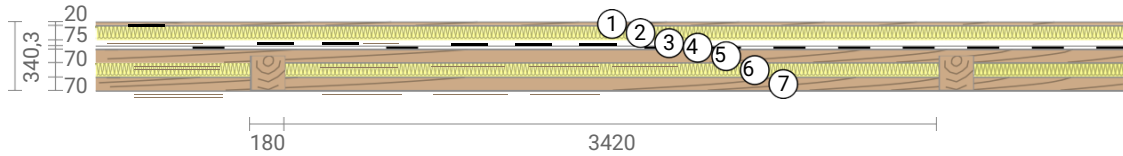
GEG 2020 Bestand*: $U < 0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Moisture proofing

Dries 20 days
Drying reserve: $565 \text{ g/m}^2\text{a}$
Condensate: 31 g/m^2

Heat protection

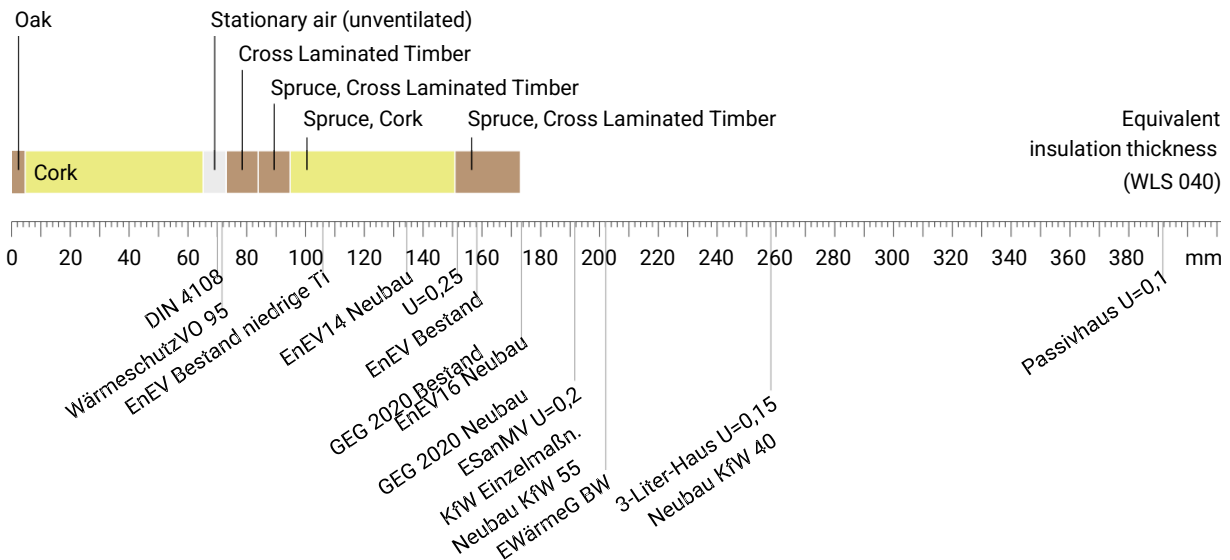
Temperature amplitude damping: 100
phase shift: 18,5 h
Thermal capacity inside: $79 \text{ kJ/m}^2\text{K}$



- ① Oak (20 mm)
- ② Cork (75 mm)
- ③ Stationary air (30 mm)
- ④ Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200
- ⑤ Cross Laminated Timber (70 mm)
- ⑥ Cork (75 mm)
- ⑦ Cross Laminated Timber (70 mm)

Impact of each layer and comparison to reference values

For the following figure, the thermal resistances of the individual layers were converted in millimeters insulation. The scale refers to an insulation of thermal conductivity $0,040 \text{ W/mK}$.



Inside air : $20,0^\circ\text{C} / 50\%$
Outside air: $-5,0^\circ\text{C} / 80\%$

Surface temperature.:
 $18,5^\circ\text{C} / -4,8^\circ\text{C}$

sd-value: 76,5 m Drying

Módulo Piso, $U=0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

U-Value calculation according to DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Thermal contact resistance inside (Rsi)			0,170
1	Oak	2,00	0,180	0,111
2	Cork	7,50	0,050	1,500
3	Stationary air (unventilated)	3,00	0,155	0,194
4	Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	0,03	0,400	0,001
5	Cross Laminated Timber	7,00	0,130	0,538
6	Cork	7,50	0,050	1,500
	Spruce (Width: 18 cm)	18,00	0,130	1,385
7	Cross Laminated Timber	7,00	0,130	0,538
	Thermal contact resistance outside (Rse)			0,040

Thermal contact resistances have been taken from DIN 6946 Table 7.

Rsi: heat flow direction downward

Rse: heat flow direction downward, outside: Direct contact to outside air

Thermal transfer resistances of resting air layers were calculated as follows:

Layer 3: Thickness 3 cm, Width ∞ , DIN EN ISO 6946 Table 8, heat flow direction downward

Upper limit of thermal resistance $R_{\text{tot,upper}} = 4,536 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$. Lower

limit of thermal resistance $R_{\text{tot,lower}} = 4,482 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$.

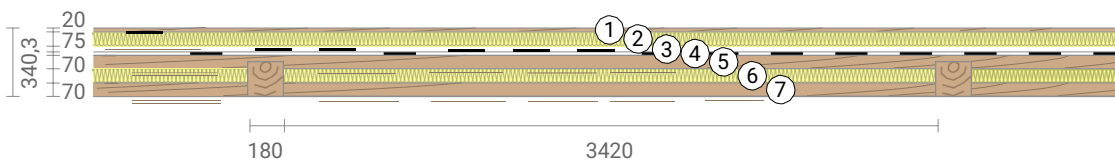
Check applicability: $R_{\text{tot,upper}} / R_{\text{tot,lower}} = 1,012$ (maximum allowed: 1,5)

The procedure may be used.

Thermal resistance $R_{\text{tot}} = (R_{\text{tot,upper}} + R_{\text{tot,lower}})/2 = 4,509 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

Estimated maximum relative uncertainty according to section 6.7.2.5: 0,60%Heat

transfer coefficient $U = 1/R_{\text{tot}} = \mathbf{0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})}$



Módulo Piso, U=0,22 W/(m²K)

LCA

Heat loss: 13 kWh/m² per heating season



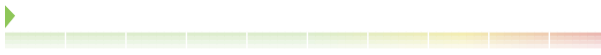
Amount of heat that escapes through one square meter of this component during the heating period. Please note: Due to internal and solar gains, the heating demand is lower than the heat loss.

Primary energy (non renewable): 96 kWh/m²



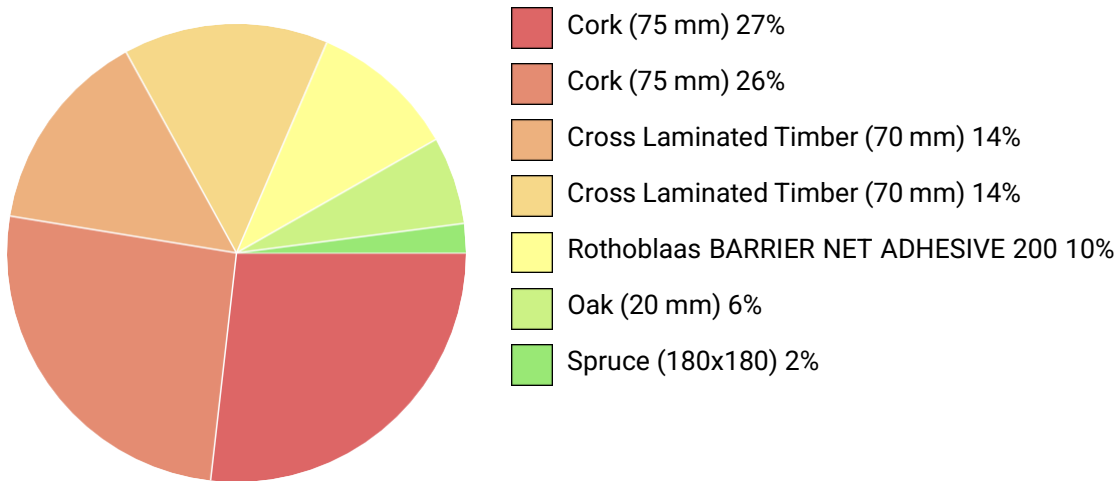
Non-renewable primary energy (= energy from fossil fuels and nuclear energy) that was used to produce the new building materials ("cradle to gate").

Green house gas potential: -153 kg CO2 Äqv./m²

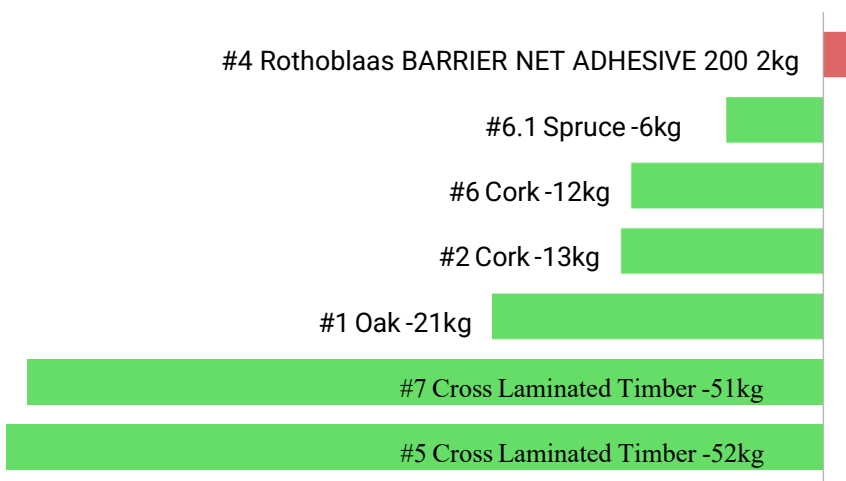


For the production of the building materials used, more greenhouse gases were withdrawn from the atmosphere than emitted.

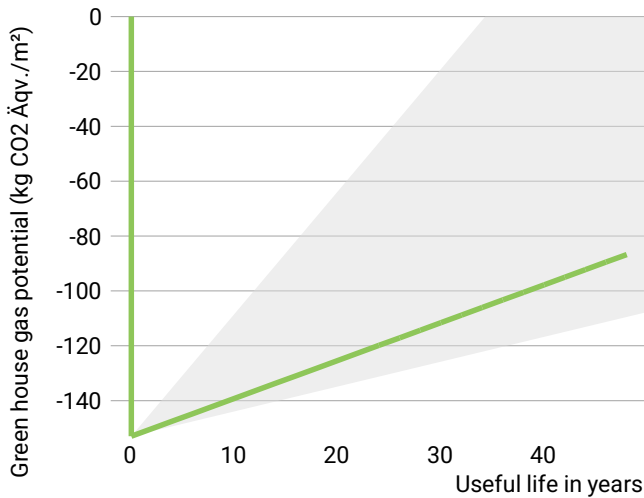
Composition of non-renewable primary energy of production:



Composition of the greenhouse potential of production:



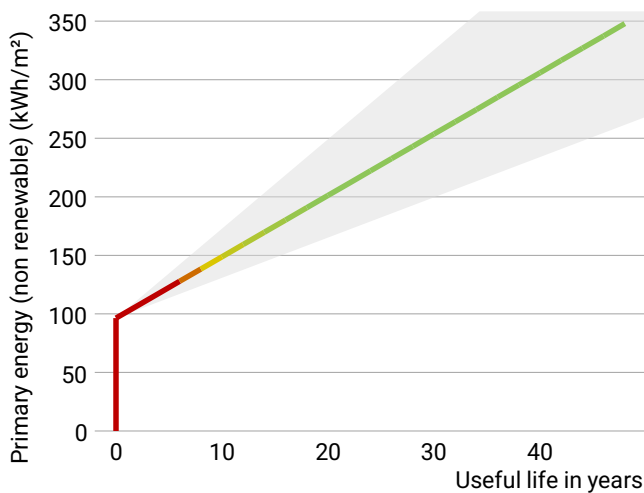
Global warming potential and primary energy for construction and use



The **left figure** shows the global warming potential of the production of the component in the vertical part of the curve. Greenhouse gas emissions (through heating) arising during use of the building are indicated by the upward curve.

The **figure at the bottom left** shows the non-renewable primary energy expenditure for the production of the component in the vertical part of the curve. The primary energy required during use of the building (through heating) is represented by the upward curve.

The longer the component is used unchanged, the more environmentally friendly it is, because the production costs contribute less to the total emissions (indicated by the color of the curve).



Due to unknown solar and internal gains, the heating demand can only be estimated. Accordingly, primary energy consumption and global warming potential during the use phase are only vaguely known. For the estimation it was assumed that solar and internal profits contribute with $4 \text{ kWh}/\text{a}/\text{m}^2$ component area. The light gray area indicates the area in which the curve is located with great certainty. For heat generation, a primary energy input of $0,60 \text{ kWh}$ per kWh of heat and a global warming potential of $0,16 \text{ kg CO}_2 \text{ eqv}/\text{m}^2$ per kWh of heat was used. Heat source: Heat pump (air-water).

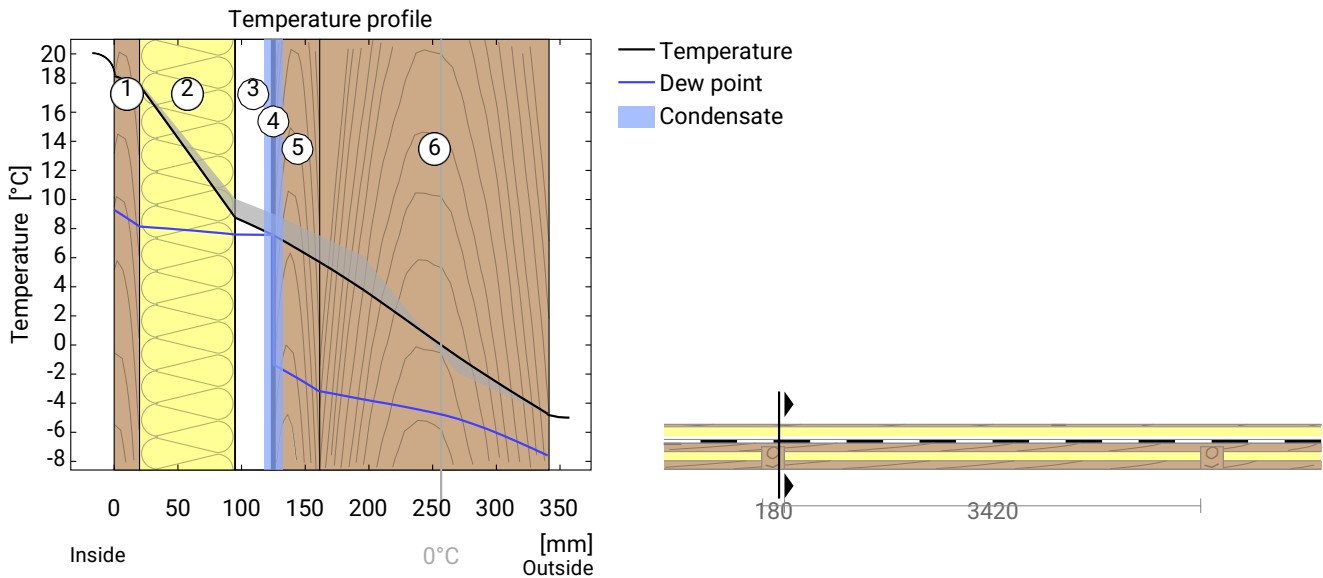
Hints

Calculated for the location H1a Trappes, heating period from Mid of October to End of April. The calculation is based on monthly average temperatures. Source: Réglementation Thermique 2012

The climate and energy data on which this calculation is based can, in some cases, show considerable fluctuations and, in individual cases, deviate considerably from the actual value.

Módulo Piso, U=0,22 W/(m²K)

Temperature profile



- ① Oak (20 mm)
- ② Cork (75 mm)
- ③ Stationary air (30 mm)
- ④ Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200
- ⑤ Spruce (180 mm)
- ⑥ Cross Laminated Timber (35 mm)

Left: Temperature and dew-point temperature at the place marked in the right figure. The dew-point indicates the temperature, at which water vapour condensates. As long as the temperature of the component is everywhere above the dewpoint, no condensation occurs. If the curves have contact, condensation occurs at the corresponding position.

Right: The component, drawn to scale.

Layers (from inside to outside)

#	Material	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Temperatur [°C]		Weight [kg/m²]
				min	max	
Thermal contact resistance*						
1	2 cm Oak	0,180	0,111	18,5	20,0	13,8
2	7,5 cm Cork	0,050	1,500	8,7	18,1	12,0
3	3 cm Stationary air (unventilated)	0,155	0,194	7,5	10,0	0,0
4	0,03 cm Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	0,400	0,001	7,4	9,0	0,2
5	7 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,538	4,2	9,0	34,1
6	7,5 cm Cork	0,050	1,500	-2,0	6,1	11,4
	18 cm Spruce (Width: 18 cm)	0,130	1,385	-4,7	6,1	4,1
7	7 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,538	-4,8	-1,1	33,3
Thermal contact resistance*				-5,0	-4,7	
34,03 cm Whole component			4,523			108,9

*Thermal contact resistances according to DIN 4108-3 for moisture protection and temperature profile. The values for the U-value calculation can be found on the page 'U-value calculation'.

Surface temperature inside (min / average / max): 18,5°C 18,6°C 18,7°C
 Surface temperature outside (min / average / max): -4,8°C -4,8°C -4,7°C

Módulo Piso, $U=0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Moisture proofing

For the calculation of the amount of condensation water, the component was exposed to the following constant climate for 90 days: inside: 20°C und 50% Humidity; outside: -5°C und 80% Humidity. This climate complies with DIN 4108-3.

Under these conditions, a total of 0,031 kg of condensation water per square meter is accumulated. This quantity dries in summer in 20 days (Drying season according to DIN 4108-3:2018-10).

Drying reserve according to DIN 4108-3:2018: 565 g/(m²a)
At least required by DIN 68800-2: 100 g/(m²a)

#	Material	sd-value [m]	Condensate		Weight
			[kg/m ²]	[Gew.-%]	[kg/m ²]
1	2 cm Oak	1,00	-	-	13,8
2	7,5 cm Cork	0,38	-	-	12,0
3	3 cm Stationary air (unventilated)	0,01	0,031	-	0,0
4	0,03 cm Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	47,10	0,031	-	0,2
5	7 cm Cross Laminated Timber	14,00	-	-	34,1
6	7,5 cm Cork	0,75	-	-	11,4
	18 cm Spruce (Width: 18 cm)	9,00	-	-	4,1
7	7 cm Cross Laminated Timber	14,00	-	-	33,3
	34,03 cm Whole component	76,48	0,031	-	108,9

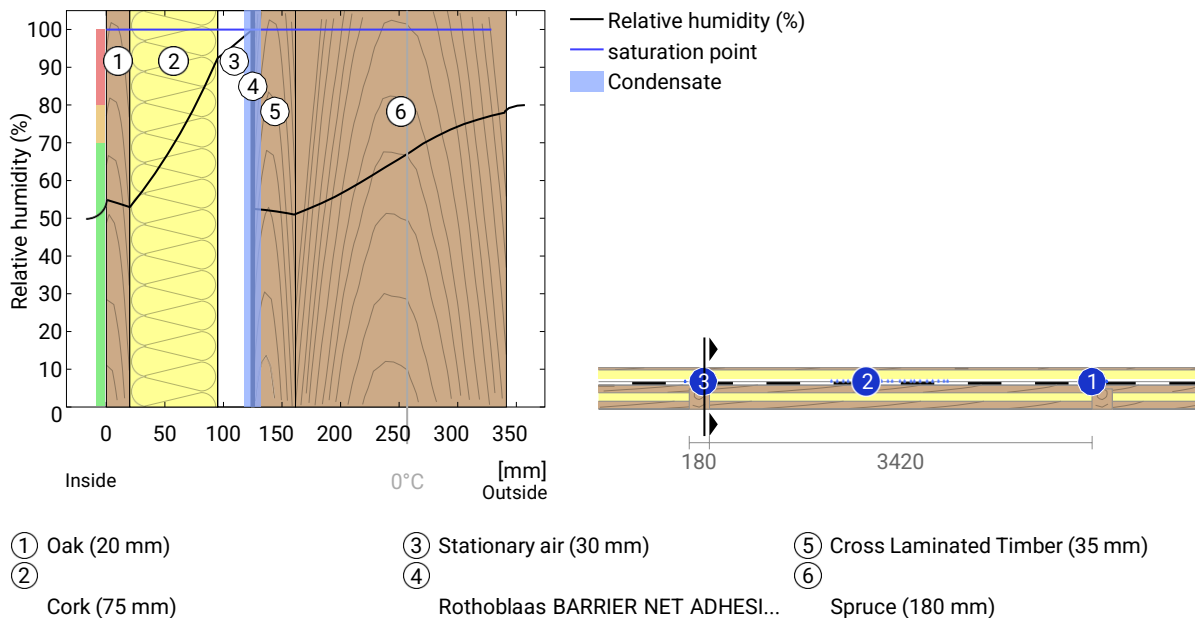
Condensation areas

- ① Condensate: 0,02 kg/m² Affected layers: Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200, Stationary air (unventilated)
- ② Condensate: 0,002 kg/m² Affected layers: Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200, Stationary air (unventilated)
- ③ Condensate: 0,009 kg/m² Affected layers: Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200, Stationary air (unventilated)

Humidity

The temperature of the inside surface is 18,5 °C leading to a relative humidity on the surface of 55%. Mould formation is not expected under these conditions.

The following figure shows the relative humidity inside the component.



Notes: Calculation using the Ubakus 2D-FE method. Convection and the capillarity of the building materials were not considered. The drying time may take longer under unfavorable conditions (shading, damp / cool summers) than calculated here.

Módulo Piso, $U=0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Moisture protection in accordance with DIN 4108-3:2018 Appendix A

This moisture proofing is only valid for **non-air-conditioned** residential buildings. Please note the hints at the end of these moisture proofing calculations.

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	sd [m]	ρ [kg/m ³]	T [°C]	ps [Pa]	Σ sd [m]
Thermal contact resistance			0,250					
1	2 cm Oak	0,180	0,111	1	690	18,66	2151	0
2	7,5 cm Cork	0,050	1,500	0,38	160	18,07	2072	1
3	3 cm Stationary air (unventilated)	0,155	0,194	0,01	1	10,04	1231	1,38
4	0,03 cm Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	0,400	0,001	47,1	667	9,00	1147	1,39
5	7 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,538	14	500	9,00	1147	48,5
6	7,5 cm Cork	0,050	1,500	0,75	160	6,12	943	62,5
7	7 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,538	14	500	-1,91	521	63,2
Thermal contact resistance			0,040			-4,79	409	77,2

Temperature (T), vapor saturation pressure (ps), and the sum of the sd-values (Σ sd) apply to the layer boundary.

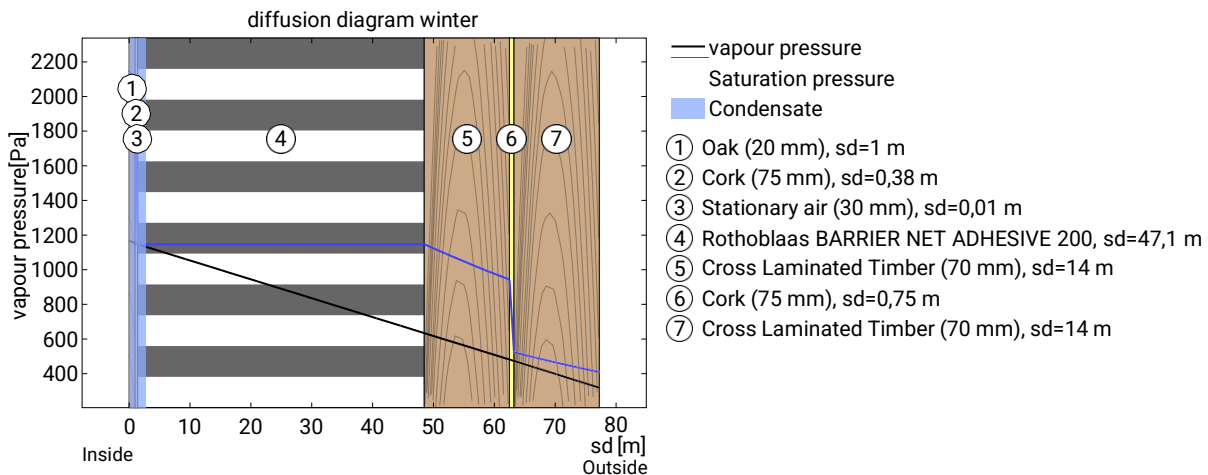
Relative air humidity on the surface

The relative humidity on the interior surface is 54%. Requirements for the prevention of building material corrosion depend on material and coating and have not been investigated.



Dew period (winter)

Boundary conditions	
Vapor pressure inside at 20°C and 50% humidity	$p_i = 1168 \text{ Pa}$
Vapor pressure outside at -5°C and 80% humidity	$p_e = 321 \text{ Pa}$
Duration of condensation period (90 days)	$t_c = 7776000 \text{ s}$
Water vapor diffusion coefficient in static air	$\delta_0 = 2.0\text{E-}10 \text{ kg}/(\text{m}^*\text{s}*\text{Pa})$
sd-value (Whole component.)	$s_{de} = 77,24 \text{ m}$



Condensation area c₁: Layer boundary between Stationary air (unventilated) and Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200 at $s_{d,c1}=1,39 \text{ m}$; $p_{c1}=1147 \text{ Pa}$; $x_1=12,5 \text{ cm}$

Condensate amount: $M_c = t_c * \delta_0 * ((p_i - p_{c1}) / s_{d,c1} - (p_{c1} - p_e) / (s_{de} - s_{d,c1})) = 0,007 \text{ kg}/\text{m}^2$

Stationary air (unventilated) wird als nicht wasseraufnahmefähig eingestuft weil $A_w < 0.1$ ist.

Für Schicht Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200 wurde noch kein Wasseraufnahmekoeffizient hinterlegt. Es wird deshalb angenommen, dass mindestens eine Schicht nicht kapillar wasseraufnahmefähig ist.

At least one moistened layer is not classified as water absorptive. The maximum allowed amount of condensation water is therefore $0.5 \text{ kg}/\text{m}^2$.

Total amount of condensate: $M_c = 0,007 \text{ kg}/\text{m}^2$

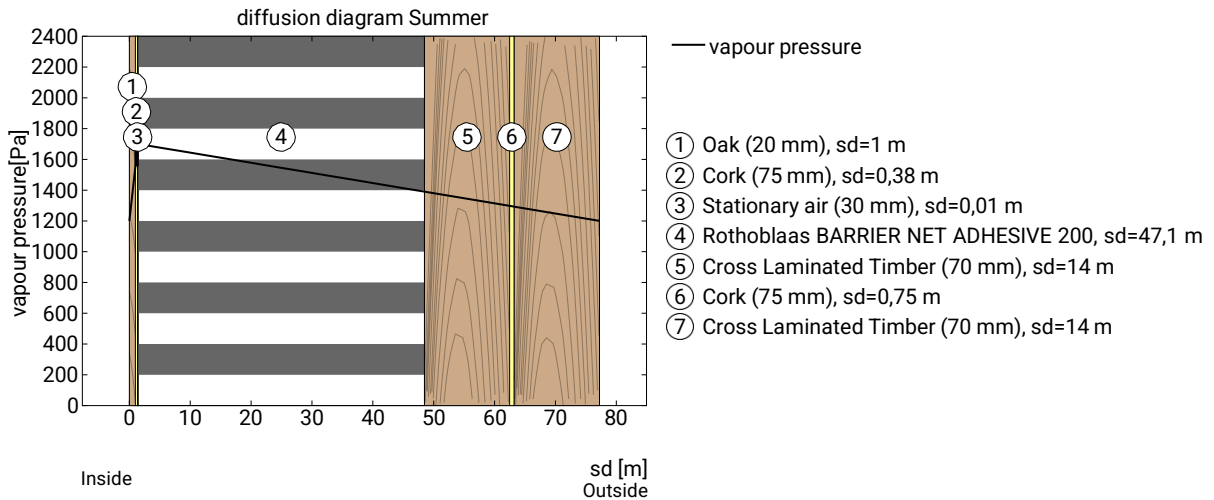


Módulo Piso, $U=0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Evaporation period (summer)

Boundary conditions

Interior vapor pressure	$p_i = 1200 \text{ Pa}$
Exterior vapor pressure	$p_e = 1200 \text{ Pa}$
Saturation vapour pressure in the condensation area	$p_s = 1700 \text{ Pa}$
Length of drying season (90 days)	$t_{ev} = 7776000 \text{ s}$
sd-values remain unchanged.	



Maximum possible evaporation mass

$$M_{ev} = t_c \cdot 50 \cdot \left(\frac{(p_s - p_i)}{s_{d,c1}} + \frac{(p_s - p_e)}{(s_d - s_{d,c1})} \right) = \mathbf{0,572 \text{ kg/m}^2}$$

The condensation amount of $0,007 \text{ kg/m}^2$ can dry completely.



Drying reserve (DIN 68800-2)

$$\text{Drying reserve: } M_r = (M_{ev} - M_c) \cdot 1000 = \mathbf{565 \text{ g/m}^2/\text{a}}$$

Minimum requested for walls and ceilings: $100 \text{ g/m}^2/\text{a}$



Evaluation according to DIN 4108-3

The component is permissible regarding the moisture protection.

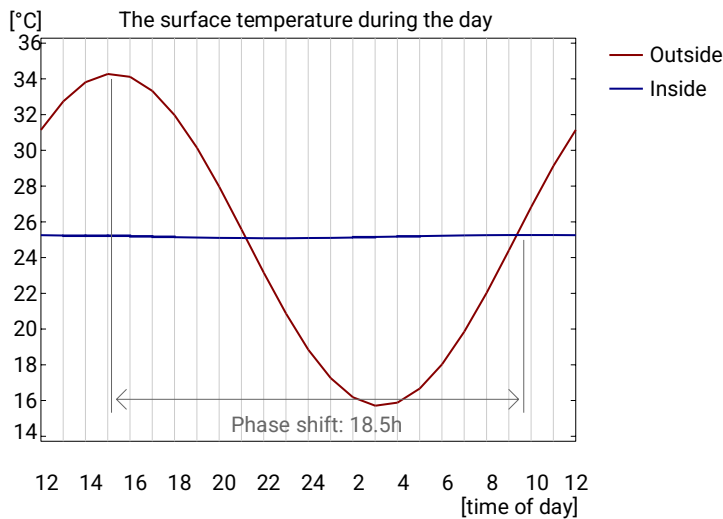
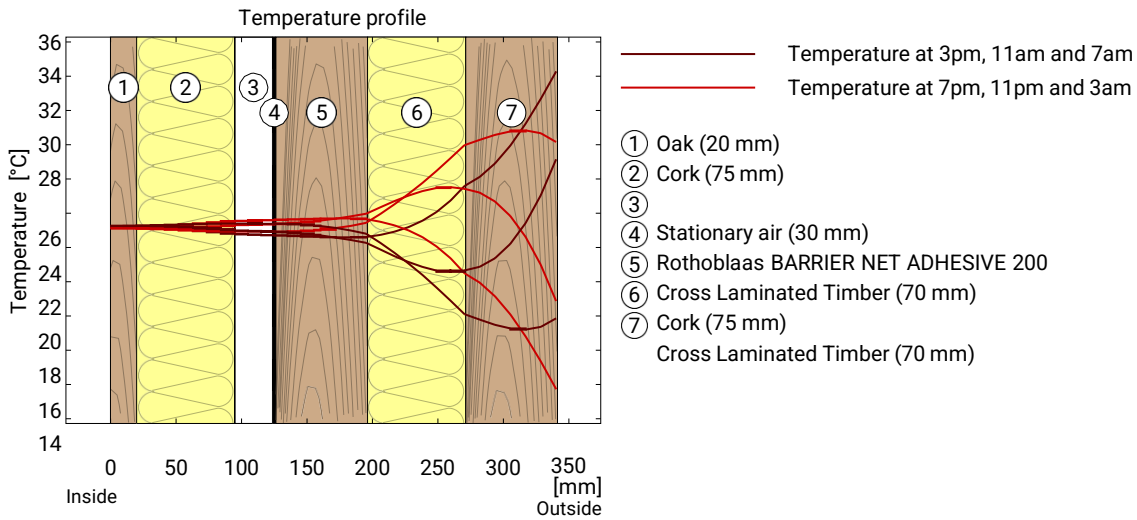
Hints

In the case of inhomogeneous constructions, such as skeleton-, stand- or frame constructions, as well as in wooden beam, rafter or half-timbered constructions or the like, the one-dimensional diffusion calculations are only to be demonstrated for the compartment area. Exceptional cases are special constructions in which, for example, The diffusion-inhibiting layer is also laid section-wise over the outer area. In these exceptional cases, the calculation performed here is invalid.

DIN 4108-3 describes in Section 5.3 components for which no moisture proofing is required as there is no risk of condensation water or the method is not suitable for the assessment. It is not possible to assess whether the component under test is underneath.

Heat protection

The following results are properties of the tested component alone and do not make any statement about the heat protection of the entire room:



Top: Temperature profile within the component at different times. From top to bottom, brown lines: at 3 pm, 11 am and 7 am and red lines at 7 pm, 11 pm and 3 am.

Bottom: Temperature on the outer (red) and inner (blue) surface in the course of a day. The arrows indicate the location of the temperature maximum values. The maximum of the inner surface temperature should preferably occur during the second half of the night.

Phase shift*	18,5 h	Heat storage capacity (whole component):	180 kJ/m ² K
Amplitude attenuation **	100,0	Thermal capacity of inner layers:	79 kJ/m ² K
TAV ***	0,010		

* The phase shift is the time in hours after which the temperature peak of the afternoon reaches the component interior.

** The amplitude attenuation describes the attenuation of the temperature wave when passing through the component. A value of 10 means that the temperature on the outside varies 10x stronger than on the inside, e.g. outside 15-35 °C, inside 24-26 °C.

*** The temperature amplitude ratio TAV is the reciprocal of the attenuation: $TAV = 1 / \text{amplitude attenuation}$

Note: The heat protection of a room is influenced by several factors, but essentially by the direct solar radiation through windows and the total amount of heat storage capacity (including floor, interior walls and furniture). A single component usually has only a very small influence on the heat protection of the room.

Módulo Cobertura

Thermal protection

U = 0,19 W/(m²K)

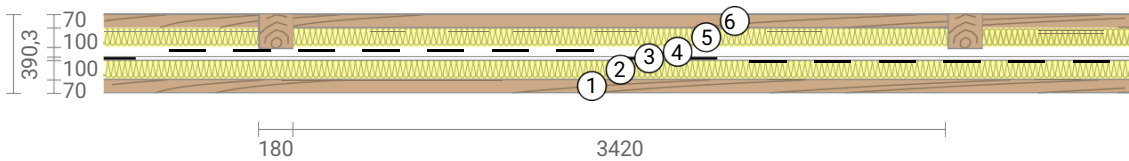
GEG 2020 Bestand*: U<0,2 W/(m²K)

Moisture proofing

Drying reserve: 349 g/m²a
Dries 13 days
Condensate: 56 g/m²

Heat protection

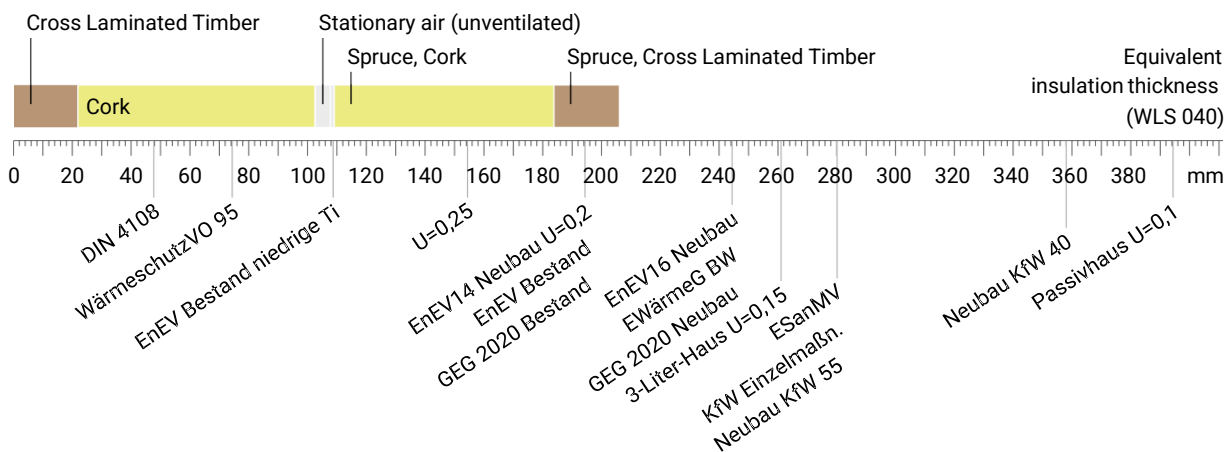
Temperature amplitude damping: >100
phase shift: non relevant
Thermal capacity inside: 85 kJ/m²K



- ① Cross Laminated Timber (70 mm)
- ② Cork (100 mm)
- ③ Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200
- ④ Stationary air (50 mm)
- ⑤ Cork (100 mm)
- ⑥ Cross Laminated Timber (70 mm)

Impact of each layer and comparison to reference values

For the following figure, the thermal resistances of the individual layers were converted in millimeters insulation. The scale refers to an insulation of thermal conductivity 0,040 W/mK.



Inside air : 20,0°C / 50%
Outside air: -5,0°C / 80%
Surface temperature.: 18,7°C / -4,8°C

sd-value: 65,0 m
Drying reserve: 349 g/m²a

Thickness: 39,0 cm
Weight: 104 kg/m²
Heat capacity: 172 kJ/m²K

Módulo Cobertura, U=0,19 W/(m²K)

U-Value calculation according to DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
	Thermal contact resistance inside (Rsi)			0,100
1	Cross Laminated Timber	7,00	0,130	0,538
2	Cork	10,00	0,050	2,000
3	Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	0,03	0,400	0,001
4	Stationary air (unventilated)	5,00	0,313	0,160
5	Cork	10,00	0,050	2,000
	Spruce (Width: 18 cm)	18,00	0,130	1,385
6	Cross Laminated Timber	7,00	0,130	0,538
	Thermal contact resistance outside (Rse)			0,040

Thermal contact resistances have been taken from DIN 6946 Table 7.

Rsi: heat flow direction upwards

Rse: heat flow direction upwards, outside: Direct contact to outside air

Thermal transfer resistances of resting air layers were calculated as follows:

Layer 4: Thickness 5 cm, Width ∞ , DIN EN ISO 6946 Table 8, heat flow direction upwards

Upper limit of thermal resistance $R_{tot,upper} = 5,303 \text{ m}^2\text{K/W}$. Lower

limit of thermal resistance $R_{tot,lower} = 5,230 \text{ m}^2\text{K/W}$.

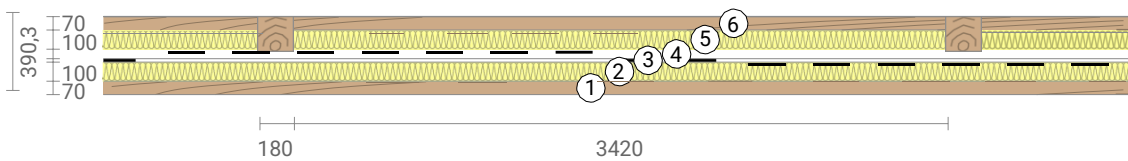
Check applicability: $R_{tot,upper} / R_{tot,lower} = 1,014$ (maximum allowed: 1,5)

The procedure may be used.

Thermal resistance $R_{tot} = (R_{tot,upper} + R_{tot,lower})/2 = 5,267 \text{ m}^2\text{K/W}$

Estimated maximum relative uncertainty according to section 6.7.2.5: 0,69% Heat

transfer coefficient $U = 1/R_{tot} = \mathbf{0,19 \text{ W/(m}^2\text{K)}}$



Módulo Cobertura, U=0,19 W/(m²K)

LCA

Heat loss: 11 kWh/m² per heating season



Amount of heat that escapes through one square meter of this component during the heating period. Please note: Due to internal and solar gains, the heating demand is lower than the heat loss.

Primary energy (non renewable): 108 kWh/m²



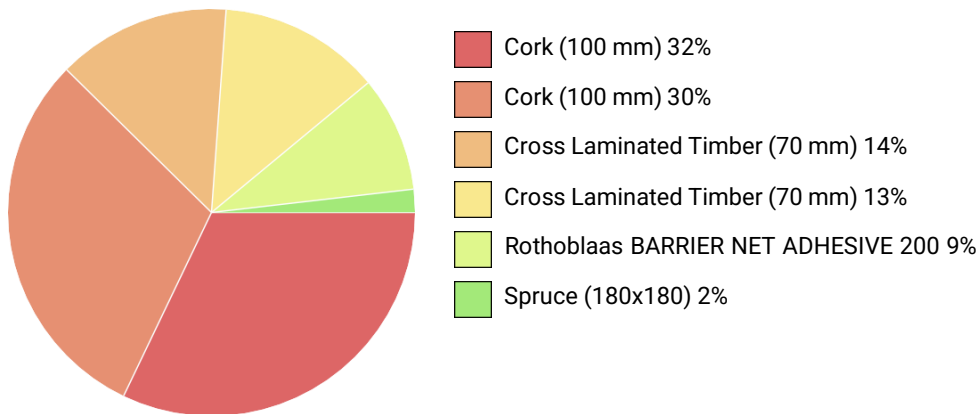
Non-renewable primary energy (= energy from fossil fuels and nuclear energy) that was used to produce the new building materials ("cradle to gate").

Green house gas potential: -142 kg CO2 Äqv./m²

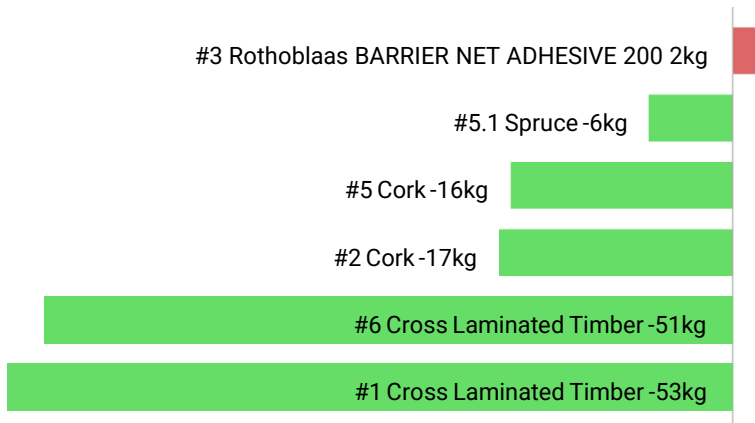


For the production of the building materials used, more greenhouse gases were withdrawn from the atmosphere than emitted.

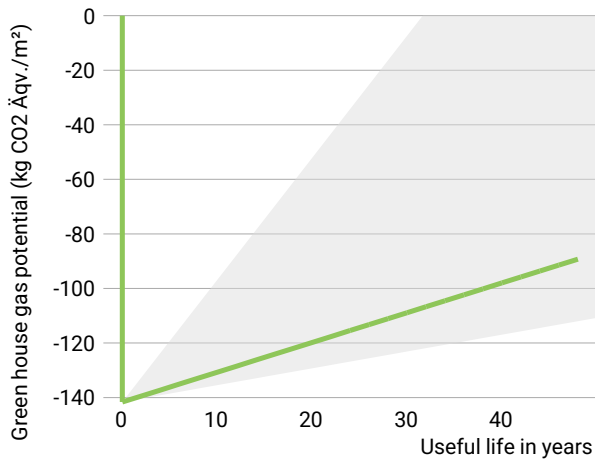
Composition of non-renewable primary energy of production:



Composition of the greenhouse potential of production:



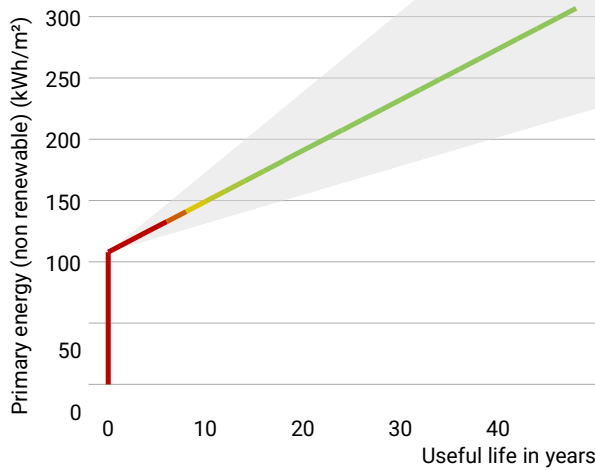
Global warming potential and primary energy for construction and use



The **left figure** shows the global warming potential of the production of the component in the vertical part of the curve. Greenhouse gas emissions (through heating) arising during use of the building are indicated by the upward curve.

The **figure at the bottom left** shows the non-renewable primary energy expenditure for the production of the component in the vertical part of the curve. The primary energy required during use of the building (through heating) is represented by the upward curve.

The longer the component is used unchanged, the more environmentally friendly it is, because the production costs contribute less to the total emissions (indicated by the color of the curve).



Due to unknown solar and internal gains, the heating demand can only be estimated. Accordingly, primary energy consumption and global warming potential during the use phase are only vaguely known. For the estimation it was assumed that solar and internal profits contribute with $4 \text{ kWh}/\text{a}/\text{m}^2$ component area. The light gray area indicates the area in which the curve is located with great certainty. For heat generation, a primary energy input of $0,60 \text{ kWh}$ per kWh of heat and a global warming potential of $0,16 \text{ kg CO}_2 \text{ eqv}/\text{m}^2$ per kWh of heat was used. Heat source: Heat pump (air-water).

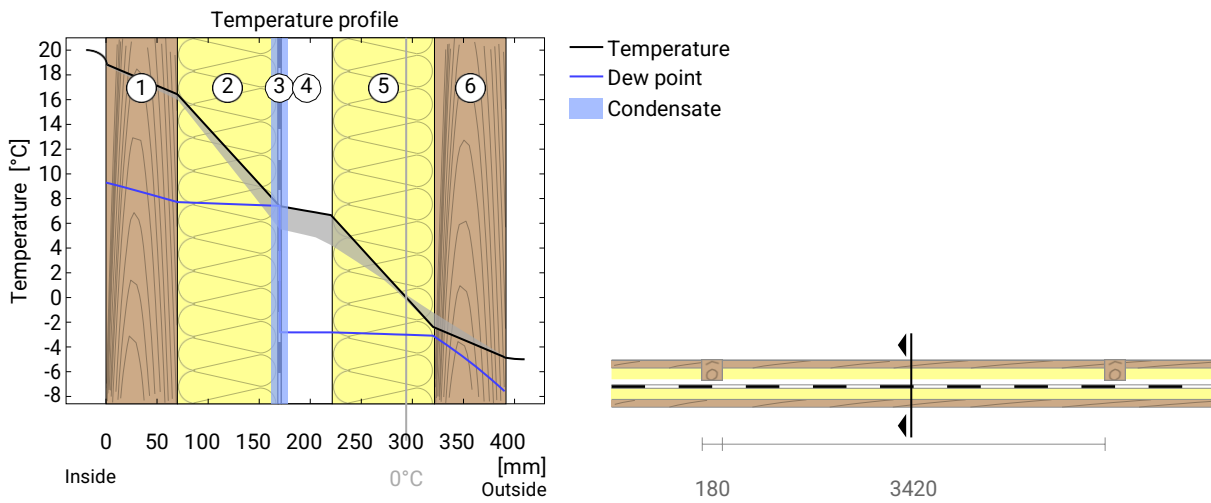
Hints

Calculated for the location H1a Trappes, heating period from Mid of October to End of April. The calculation is based on monthly average temperatures. Source: Réglementation Thermique 2012

The climate and energy data on which this calculation is based can, in some cases, show considerable fluctuations and, in individual cases, deviate considerably from the actual value.

Módulo Cobertura, U=0,19 W/(m²K)

Temperature profile



- ① Cross Laminated Timber (70 mm) ③ Rothoblaas BARRIER NET ADHESI... ⑤ Cork (100 mm)
 ② Cork (100 mm) ④ Stationary air (50 mm) ⑥ Cross Laminated Timber (70 mm)

Left: Temperature and dew-point temperature at the place marked in the right figure. The dew-point indicates the temperature, at which water vapour condensates. As long as the temperature of the component is everywhere above the dewpoint, no condensation occurs. If the curves have contact, condensation occurs at the corresponding position.

Right: The component, drawn to scale.

Layers (from inside to outside)

#	Material	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Temperatur [°C]		Weight [kg/m²]
				min	max	
Thermal contact resistance*				18,7	20,0	
1	7 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,538	16,0	18,9	35,0
2	10 cm Cork	0,050	2,000	5,5	16,4	16,0
3	0,03 cm Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	0,400	0,001	5,5	7,4	0,2
4	5 cm Stationary air (unventilated)	0,313	0,160	4,8	7,4	0,1
5	10 cm Cork	0,050	2,000	-2,5	6,7	15,2
	18 cm Spruce (Width: 18 cm)	0,130	1,385	-4,7	5,2	4,1
6	7 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,538	-4,8	-1,6	33,3
Thermal contact resistance*				-5,0	-4,7	
39,03 cm Whole component			5,281			103,8

*Thermal contact resistances according to DIN 4108-3 for moisture protection and temperature profile. The values for the U-value calculation can be found on the page 'U-value calculation'.

Surface temperature inside (min / average / max): 18,7°C 18,8°C 18,9°C
 Surface temperature outside (min / average / max): -4,8°C -4,8°C -4,7°C

Módulo Cobertura, $U=0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Moisture proofing

For the calculation of the amount of condensation water, the component was exposed to the following constant climate for 90 days: inside: 20°C und 50% Humidity; outside: -5°C und 80% Humidity. This climate complies with DIN 4108-3.

Under these conditions, a total of 0,056 kg of condensation water per square meter is accumulated. This quantity dries in summer in 13 days (Drying season according to DIN 4108-3:2018-10).

Drying reserve according to DIN 4108-3:2018: 349 g/(m²a)
At least required by DIN 68800-2: 250 g/(m²a)

#	Material	sd-value [m]	Condensate		Weight [kg/m ²]
			[kg/m ²]	[Gew.-%]	
1	7 cm Cross Laminated Timber	2,80	-	-	35,0
2	10 cm Cork	0,50	0,056	-	16,0
3	0,03 cm Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	47,10	0,056	-	0,2
4	5 cm Stationary air (unventilated)	0,01	-	-	0,1
5	10 cm Cork	1,00	-	-	15,2
	18 cm Spruce (Width: 18 cm)	9,00	-	-	4,1
6	7 cm Cross Laminated Timber	14,00	-	-	33,3
	39,03 cm Whole component	65,03	0,056	-	103,8

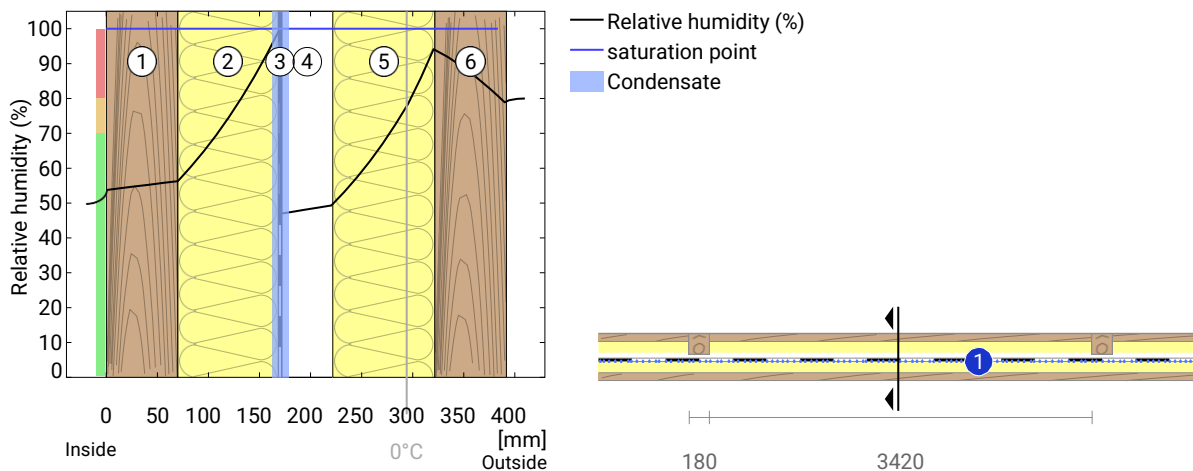
Condensation areas

- ① Condensate: 0,056 kg/m² Affected layers: Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200, Cork

Humidity

The temperature of the inside surface is 18,7 °C leading to a relative humidity on the surface of 54%.Mould formation is not expected under these conditions.

The following figure shows the relative humidity inside the component.



- ① Cross Laminated Timber (70 mm) ③ Rothoblaas BARRIER NET ADHESI... ⑤ Cork (100 mm)
② Cork (100 mm) ④ Stationary air (50 mm) ⑥ Cross Laminated Timber (70 mm)

Notes: Calculation using the Ubakus 2D-FE method. Convection and the capillarity of the building materials were not considered. The drying time may take longer under unfavorable conditions (shading, damp / cool summers) than calculated here.

Módulo Cobertura, U=0,19 W/(m²K)

Moisture protection in accordance with DIN 4108-3:2018 Appendix A

This moisture proofing is only valid for **non-air-conditioned** residential buildings.

In the case of roof structures with **tile coverings and wooden gratings**, this standard may not be applied. Whether this construction falls under it, is to be examined by the planner.

Please note the hints at the end of these moisture proofing calculations.

#	Material	λ [W/mK]	R [m²K/W]	sd [m]	ρ [kg/m³]	T [°C]	ps [Pa]	Σ sd [m]
	Thermal contact resistance		0,250					
1	7 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,538	2,8	500	18,87	2179	0
2	10 cm Cork	0,050	2,000	0,5	160	16,43	1869	2,8
3	0,03 cm Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	0,400	0,001	47,1	667	7,39	1029	3,3
4	5 cm Stationary air (unventilated)	0,313	0,160	0,01	1	7,39	1028	50,4
5	10 cm Cork	0,050	2,000	1	160	6,66	979	50,4
6	7 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,538	14	500	-2,38	501	51,4
	Thermal contact resistance		0,040			-4,82	408	65,4

Temperature (T), vapor saturation pressure (ps), and the sum of the sd-values (Σ sd) apply to the layer boundary.

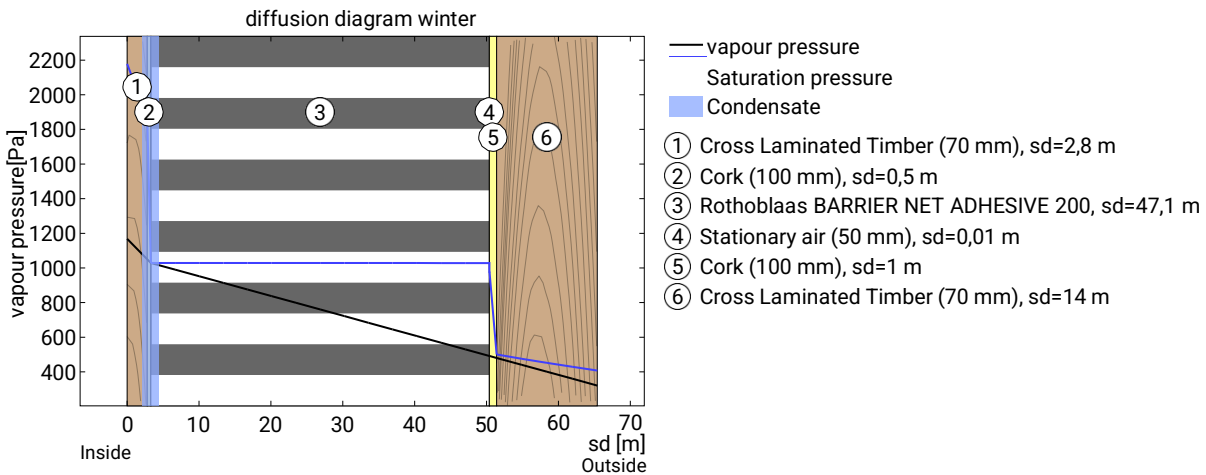
Relative air humidity on the surface

The relative humidity on the interior surface is 54%. Requirements for the prevention of building material corrosion depend on material and coating and have not been investigated.



Dew period (winter)

Boundary conditions	
Vapor pressure inside at 20°C and 50% humidity	$p_i = 1168$ Pa
Vapor pressure outside at -5°C and 80% humidity	$p_e = 321$ Pa
Duration of condensation period (90 days)	$t_c = 7776000$ s
Water vapor diffusion coefficient in static air	$\delta_0 = 2.0E-10$ kg/(m*s*Pa)
sd-value (Whole component.)	$s_{de} = 65,41$ m



Condensation area c_1 : Layer boundary between Cork and Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200

at $s_{d_{c1}}=3,30$ m; $p_{c1}=1029$ Pa; $x_1=17$ cm

Condensate amount: $M_c = t_c * \delta_0 * ((p_i - p_{c1})/s_{d_{c1}} - (p_{c1} - p_e)/(s_{de} - s_{d_{c1}})) = 0,048$ kg/m²

Für Schicht Cork wurde noch kein Wasseraufnahmekoeffizient hinterlegt. Es wird deshalb angenommen, dass mindestens eine Schicht nicht kapillar wasseraufnahmefähig ist.

Für Schicht Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200 wurde noch kein Wasseraufnahmekoeffizient hinterlegt. Es wird deshalb angenommen, dass mindestens eine Schicht nicht kapillar wasseraufnahmefähig ist.

The maximum allowed amount of condensation water is at least 0,5 kg/m².

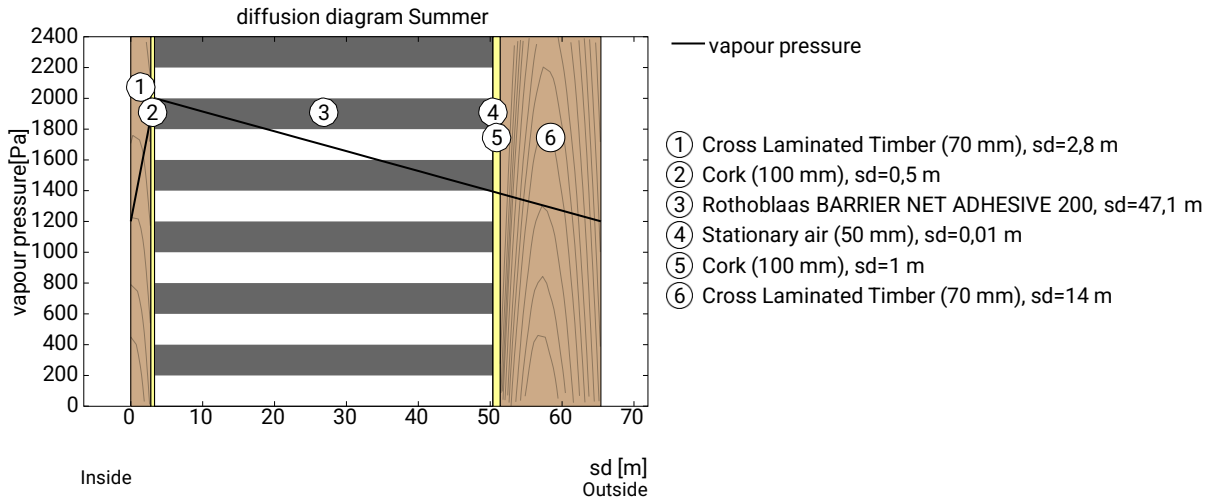
Total amount of condensate: $M_c = 0,048 \text{ kg/m}^2$



Evaporation period (summer)

Boundary conditions

Interior vapor pressure	$p_i = 1200 \text{ Pa}$
Exterior vapor pressure	$p_e = 1200 \text{ Pa}$
Saturation vapour pressure in the condensation area	$p_s = 2000 \text{ Pa}$ (Roof against outside air)
Length of drying season (90 days)	$t_{ev} = 7776000 \text{ s}$
sd-values remain unchanged.	



Maximum possible evaporation mass

$$M_{ev} = t_c * \delta_0 * ((p_s - p_i) / s_{d_{c1}} + (p_s - p_e) / (s_{d_e} - s_{d_{c1}})) = 0,397 \text{ kg/m}^2$$

The condensation amount of $0,048 \text{ kg/m}^2$ can dry completely.



Drying reserve (DIN 68800-2)

$$M_r = (M_{ev} - M_c) * 1000 = 349 \text{ g/m}^2/\text{a}$$

Minimum requested for roofs: $250 \text{ g/m}^2/\text{a}$



Evaluation according to DIN 4108-3

The component is permissible regarding the moisture protection.

Hints

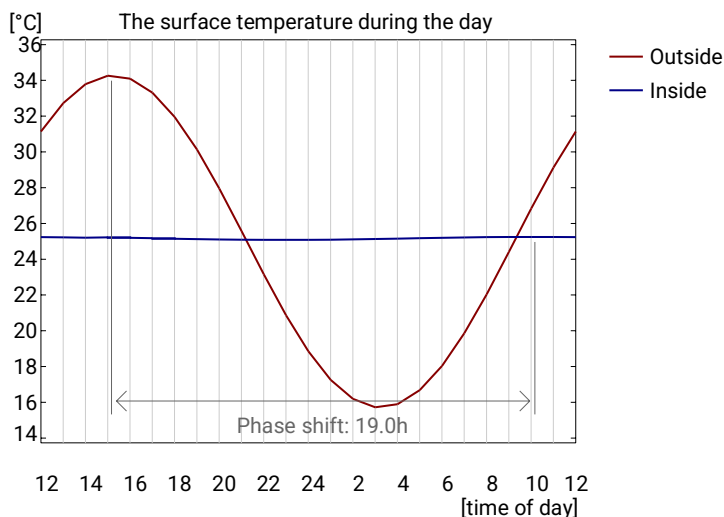
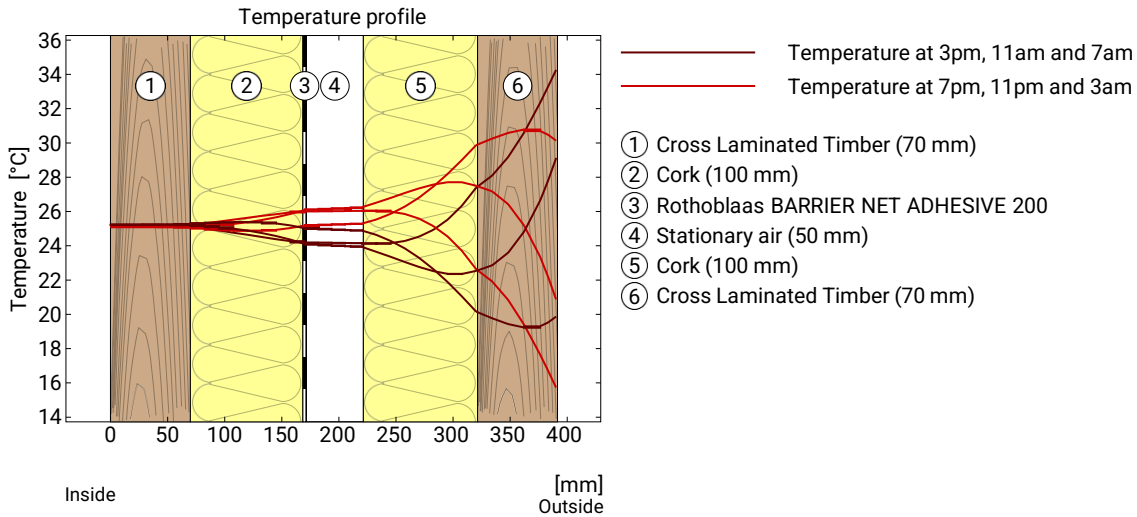
In the case of inhomogeneous constructions, such as skeleton-, stand- or frame constructions, as well as in wooden beam, rafter or half-timbered constructions or the like, the one-dimensional diffusion calculations are only to be demonstrated for the compartment area. Exceptional cases are special constructions in which, for example, The diffusion-inhibiting layer is also laid section-wise over the outer area. In these exceptional cases, the calculation performed here is invalid.

DIN 4108-3 describes in Section 5.3 components for which no moisture proofing is required as there is no risk of condensation water or the method is not suitable for the assessment. It is not possible to assess whether the component under test is underneath.

It is assumed that the roof is not predominantly shaded and does not have a very bright surface (as determined by the user). This has a positive effect on the drying capacity.

Heat protection

The following results are properties of the tested component alone and do not make any statement about the heat protection of the entire room:



Top: Temperature profile within the component at different times. From top to bottom, brown lines: at 3 pm, 11 am and 7 am and red lines at 7 pm, 11 pm and 3 am.

Bottom: Temperature on the outer (red) and inner (blue) surface in the course of a day. The arrows indicate the location of the temperature maximum values . The maximum of the inner surface temperature should preferably occur during the second half of the night.

Phase shift*	non relevant	Heat storage capacity (whole component):	172 kJ/m ² K
Amplitude attenuation **	>100	Thermal capacity of inner layers:	85 kJ/m ² K
TAV ***	0,009		

* The phase shift is the time in hours after which the temperature peak of the afternoon reaches the component interior.

** The amplitude attenuation describes the attenuation of the temperature wave when passing through the component. A value of 10 means that the temperature on the outside varies 10x stronger than on the inside, e.g. outside 15-35 °C, inside 24-26 °C.

*** The temperature amplitude ratio TAV is the reciprocal of the attenuation: $TAV = 1 / \text{amplitude attenuation}$

Note: The heat protection of a room is influenced by several factors, but essentially by the direct solar radiation through windows and the total amount of heat storage capacity (including floor, interior walls and furniture). A single component usually has only a very small influence on the heat protection of the room.

Módulo Paredes Exteriores

Thermal protection

U = 0,23 W/(m²K)

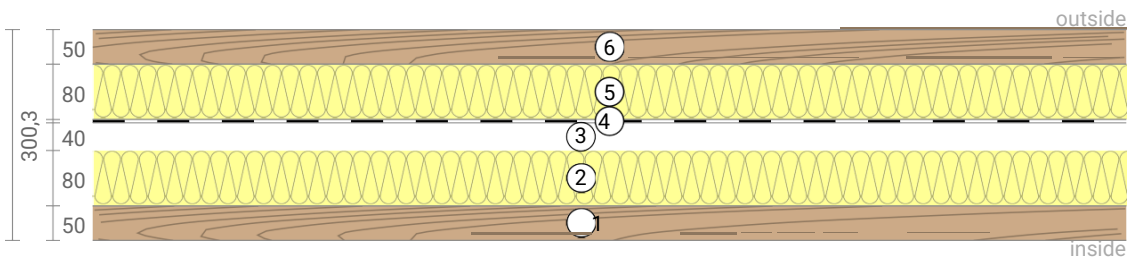
GEG 2020 Bestand*: U<0,24 W/(m²K)

Moisture proofing

Dries 32 days
Drying reserve: 220 g/m²a
Condensate: 117 g/m²

Heat protection

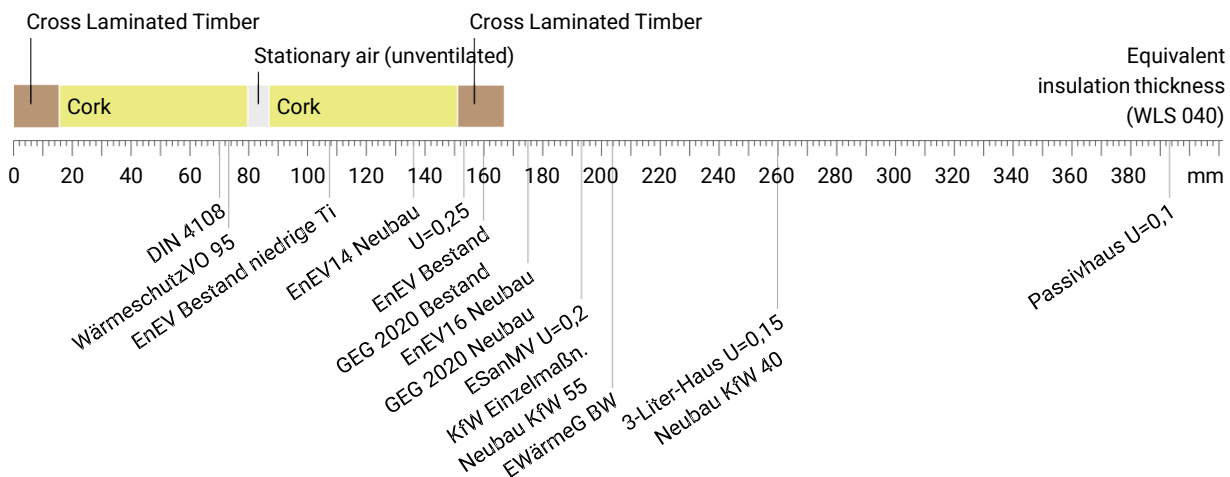
Temperature amplitude damping: 33
phase shift: 14,8 h
Thermal capacity inside: 62 kJ/m²K



- ① Cross Laminated Timber (50 mm)
- ② Cork (80 mm)
- ③ Stationary air (40 mm)
- ④ Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200
- ⑤ Cork (80 mm)
- ⑥ Cross Laminated Timber (50 mm)

Impact of each layer and comparison to reference values

For the following figure, the thermal resistances of the individual layers were converted in millimeters insulation. The scale refers to an insulation of thermal conductivity 0,040 W/mK.



Inside air : 20,0°C / 50%
Outside air: -5,0°C / 80%
Surface temperature.: 18,6°C / -4,8°C

sd-value: 60,3 m
Drying reserve: 220 g/m²a

Thickness: 30,0 cm
Weight: 76 kg/m²
Heat capacity: 126 kJ/m²K

Módulo Paredes Exteriores, $U=0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

U-Value calculation according to DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Thermal contact resistance inside (Rsi)			0,130
1	Cross Laminated Timber	5,00	0,130	0,385
2	Cork	8,00	0,050	1,600
3	Stationary air (unventilated)	4,00	0,222	0,180
4	Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	0,03	0,400	0,001
5	Cork	8,00	0,050	1,600
6	Cross Laminated Timber	5,00	0,130	0,385
	Thermal contact resistance outside (Rse)			0,040

Thermal contact resistances have been taken from DIN 6946 Table 7.

Rsi: heat flow direction horizontally

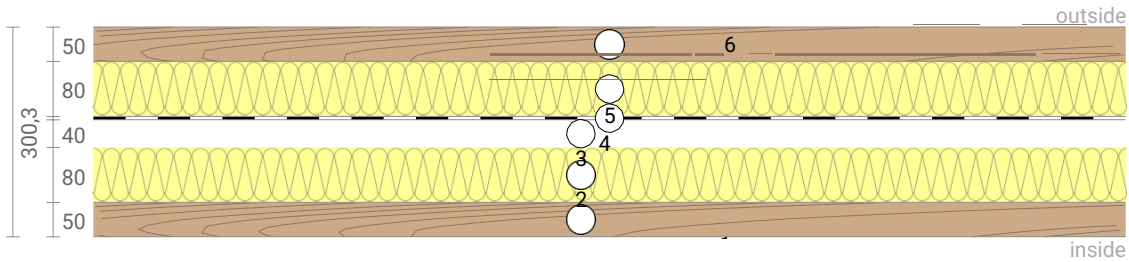
Rse: heat flow direction horizontally, outside: Direct contact to outside air

Thermal transfer resistances of resting air layers were calculated as follows:

Layer 3: Thickness 4 cm, Width ∞ , DIN EN ISO 6946 Table 8, heat flow direction horizontally

resistance $R_{\text{tot}} = 4,320 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

Heat transfer coefficient $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



Módulo Paredes Exteriores, U=0,23 W/(m²K)

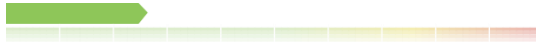
LCA

Heat loss: 13 kWh/m² per heating season



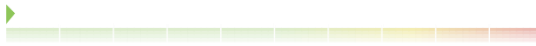
Amount of heat that escapes through one square meter of this component during the heating period. Please note: Due to internal and solar gains, the heating demand is lower than the heat loss.

Primary energy (non renewable): 86 kWh/m²



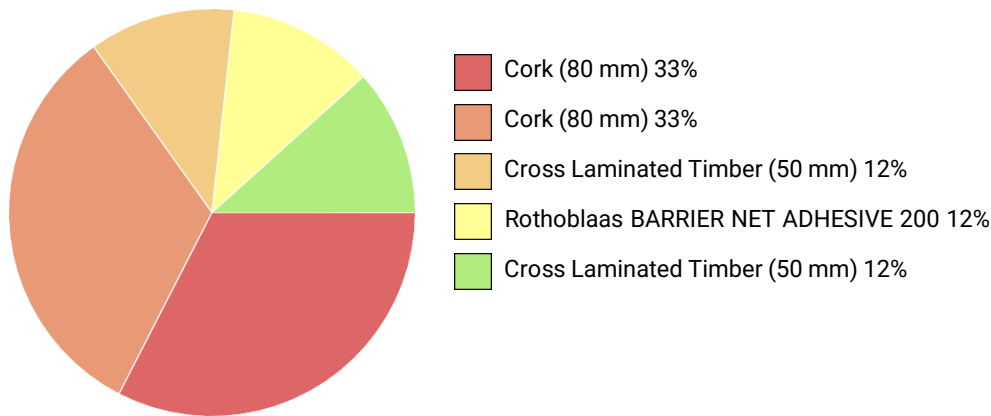
Non-renewable primary energy (= energy from fossil fuels and nuclear energy) that was used to produce the new building materials ("cradle to gate").

Green house gas potential: -102 kg CO2 Äqv./m²

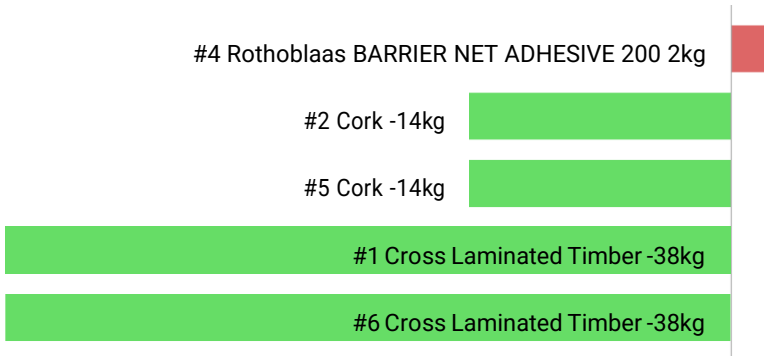


For the production of the building materials used, more greenhouse gases were withdrawn from the atmosphere than emitted.

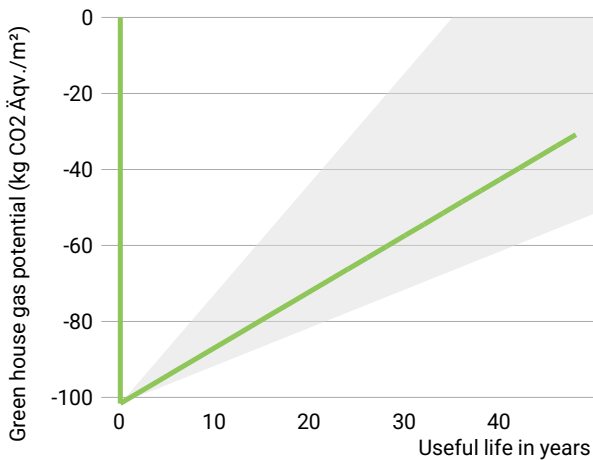
Composition of non-renewable primary energy of production:



Composition of the greenhouse potential of production:



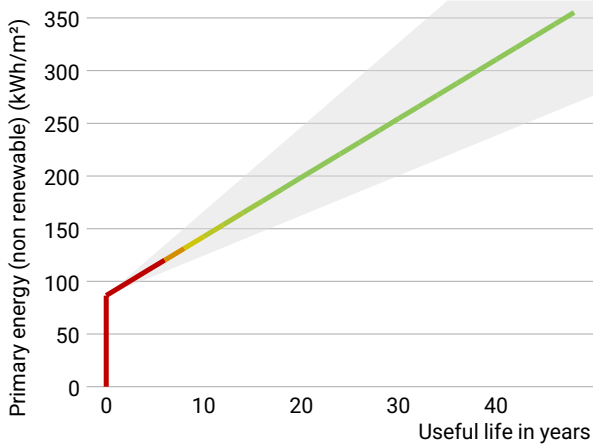
Global warming potential and primary energy for construction and use



The **left figure** shows the global warming potential of the production of the component in the vertical part of the curve. Greenhouse gas emissions (through heating) arising during use of the building are indicated by the upward curve.

The **figure at the bottom left** shows the non-renewable primary energy expenditure for the production of the component in the vertical part of the curve. The primary energy required during use of the building (through heating) is represented by the upward curve.

The longer the component is used unchanged, the more environmentally friendly it is, because the production costs contribute less to the total emissions (indicated by the color of the curve).



Due to unknown solar and internal gains, the heating demand can only be estimated. Accordingly, primary energy consumption and global warming potential during the use phase are only vaguely known. For the estimation it was assumed that solar and internal profits contribute with $4 \text{ kWh}/\text{a}/\text{m}^2$ component area. The light gray area indicates the area in which the curve is located with great certainty. For heat generation, a primary energy input of $0,60 \text{ kWh}$ per kWh of heat and a global warming potential of $0,16 \text{ kg CO}_2 \text{ eqv}/\text{m}^2$ per kWh of heat was used. Heat source: Heat pump (air-water).

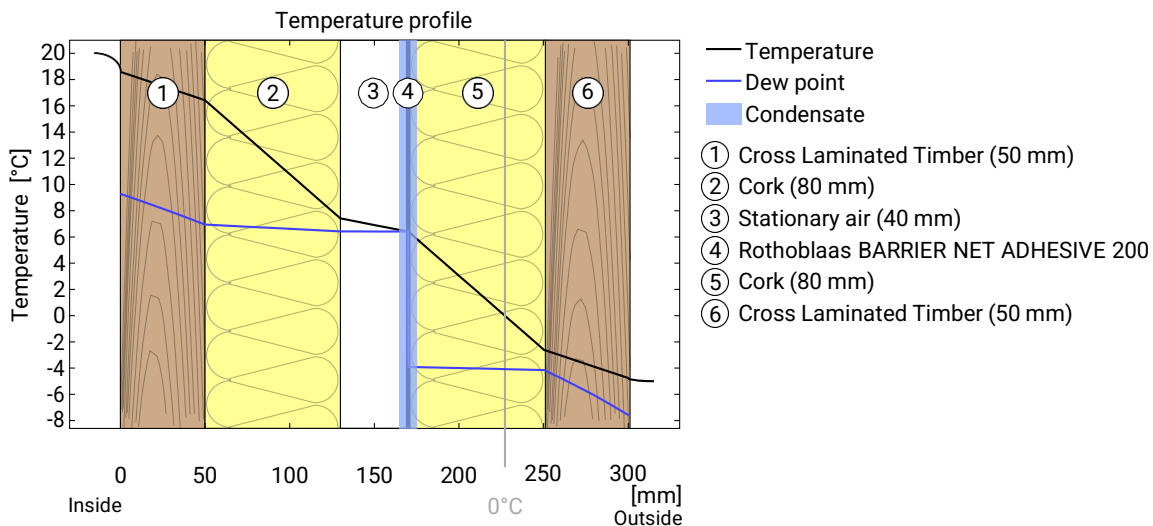
Hints

Calculated for the location H1a Trappes, heating period from Mid of October to End of April. The calculation is based on monthly average temperatures. Source: Réglementation Thermique 2012

The climate and energy data on which this calculation is based can, in some cases, show considerable fluctuations and, in individual cases, deviate considerably from the actual value.

Módulo Paredes Exteriores, U=0,23 W/(m²K)

Temperature profile



Temperature and dew-point temperature in the component. The dew-point indicates the temperature, at which water vapour condensates. As long as the temperature of the component is everywhere above the dew-point temperature, no condensation occurs. If the curves have contact, condensation occurs at the corresponding position.

Layers (from inside to outside)

#	Material	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Temperatur [°C]		Weight [kg/m²]
				min	max	
	Thermal contact resistance*		0,250	18,6	20,0	
1	5 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,385	16,4	18,6	25,0
2	8 cm Cork	0,050	1,600	7,4	16,4	12,8
3	4 cm Stationary air (unventilated)	0,222	0,180	6,4	7,4	0,0
4	0,03 cm Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	0,400	0,001	6,4	6,4	0,2
5	8 cm Cork	0,050	1,600	-2,6	6,4	12,8
6	5 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,385	-4,8	-2,6	25,0
	Thermal contact resistance*		0,040	-5,0	-4,8	
30,03 cm Whole component			4,320			75,8

*Thermal contact resistances according to DIN 4108-3 for moisture protection and temperature profile. The values for the U-value calculation can be found on the page 'U-value calculation'.

Surface temperature inside (min / average / max): 18,6°C 18,6°C 18,6°C
 Surface temperature outside (min / average / max): -4,8°C -4,8°C -4,8°C

Módulo Paredes Exteriores, U=0,23 W/(m²K)

Moisture proofing

For the calculation of the amount of condensation water, the component was exposed to the following constant climate for 90 days: inside: 20°C und 50% Humidity; outside: -5°C und 80% Humidity. This climate complies with DIN 4108-3.

Under these conditions, a total of 0,12 kg of condensation water per square meter is accumulated. This quantity dries in summer in 32 days (Drying season according to DIN 4108-3:2018-10).

Drying reserve according to DIN 4108-3:2018: 220 g/(m²a)
 At least required by DIN 68800-2: 100 g/(m²a)

#	Material	sd-value [m]	Condensate		Weight [kg/m²]
			[kg/m²]	[Gew.-%]	
1	5 cm Cross Laminated Timber	2,00	-	-	25,0
2	8 cm Cork	0,40	-	-	12,8
3	4 cm Stationary air (unventilated)	0,01	0,12	-	0,0
4	0,03 cm Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	47,10	0,12	-	0,2
5	8 cm Cork	0,80	-	-	12,8
6	5 cm Cross Laminated Timber	10,00	-	-	25,0
30,03 cm Whole component		60,31	0,12	-	75,8

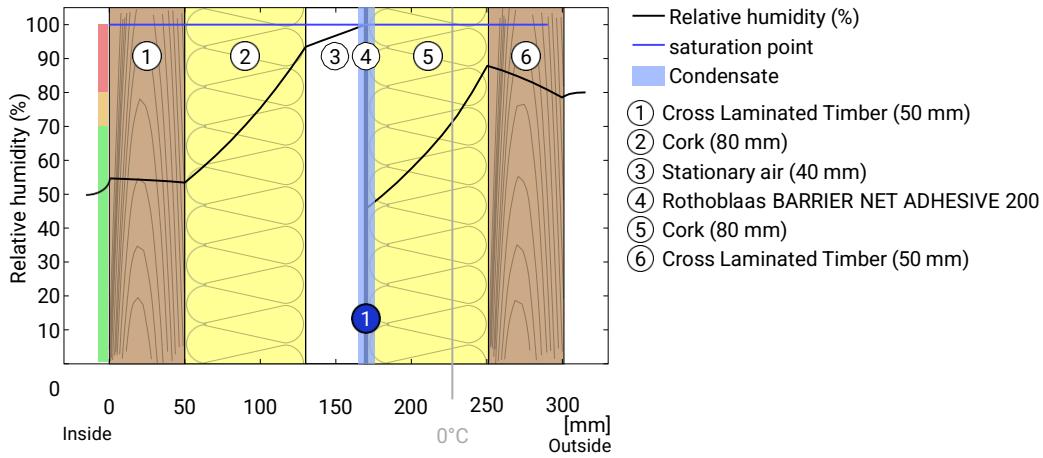
Condensation areas

- ① Condensate: 0,12 kg/m² Affected layers: Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200, Stationary air (unventilated)

Humidity

The temperature of the inside surface is 18,6 °C leading to a relative humidity on the surface of 55%. Mould formation is not expected under these conditions.

The following figure shows the relative humidity inside the component.



Notes: Calculation using the Ubakus 2D-FE method. Convection and the capillarity of the building materials were not considered. The drying time may take longer under unfavorable conditions (shading, damp / cool summers) than calculated here.

Módulo Paredes Exteriores, U=0,23 W/(m²K)

Moisture protection in accordance with DIN 4108-3:2018 Appendix A

This moisture proofing is only valid for **non-air-conditioned** residential buildings. Please note the hints at the end of these moisture proofing calculations.

#	Material	λ [W/mK]	R [m²K/W]	sd [m]	ρ [kg/m³]	T [°C]	ps [Pa]	Σ sd [m]
Thermal contact resistance			0,250			18,59	2142	0
1	5 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,385	2	500	16,43	1868	2
2	8 cm Cork	0,050	1,600	0,4	160	7,42	1031	2,4
3	4 cm Stationary air (unventilated)	0,222	0,180	0,01	1	6,40	962	2,41
4	0,03 cm Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	0,400	0,001	47,1	667			
5	8 cm Cork	0,050	1,600	0,8	160	6,40	961	49,5
6	5 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,385	10	500	-2,61	491	50,3
Thermal contact resistance			0,040			-4,77	409	60,3

Temperature (T), vapor saturation pressure (ps), and the sum of the sd-values (Σ sd) apply to the layer boundary.

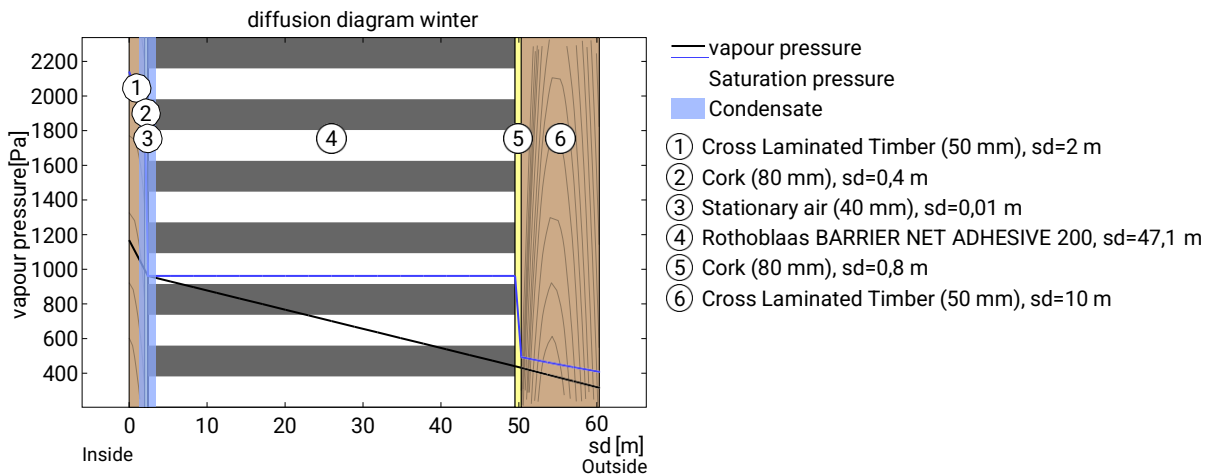
Relative air humidity on the surface

The relative humidity on the interior surface is 55%. Requirements for the prevention of building material corrosion depend on material and coating and have not been investigated.



Dew period (winter)

Boundary conditions	
Vapor pressure inside at 20°C and 50% humidity	$p_i = 1168 \text{ Pa}$
Vapor pressure outside at -5°C and 80% humidity	$p_e = 321 \text{ Pa}$
Duration of condensation period (90 days)	$t_c = 7776000 \text{ s}$
Water vapor diffusion coefficient in static air	$\delta_0 = 2.0E-10 \text{ kg/(m*s*Pa)}$
sd-value (Whole component.)	$s_d = 60,31 \text{ m}$



Condensation area c_1 : Layer boundary between Stationary air (unventilated) and Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200 at $s_{d,c_1}=2,41 \text{ m}$; $p_{c_1}=962 \text{ Pa}$; $x_1=17 \text{ cm}$

Condensate amount: $M_c = t_c * \delta_0 * ((p_i - p_{c_1}) / s_{d,c_1} - (p_{c_1} - p_e) / (s_d - s_{d,c_1})) = 0,116 \text{ kg/m}^2$

Stationary air (unventilated) wird als nicht wasseraufnahmefähig eingestuft weil $A_w < 0.1$ ist. Für Schicht Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200 wurde noch kein Wasseraufnahmekoeffizient hinterlegt. Es wird deshalb angenommen, dass mindestens eine Schicht nicht kapillar wasseraufnahmefähig ist.

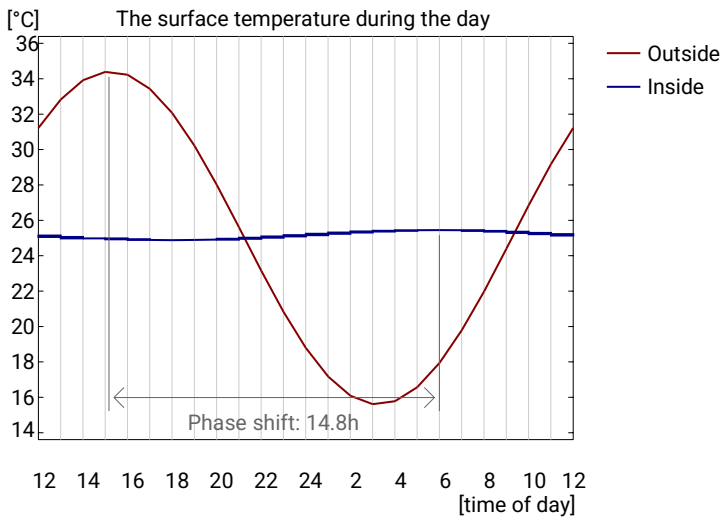
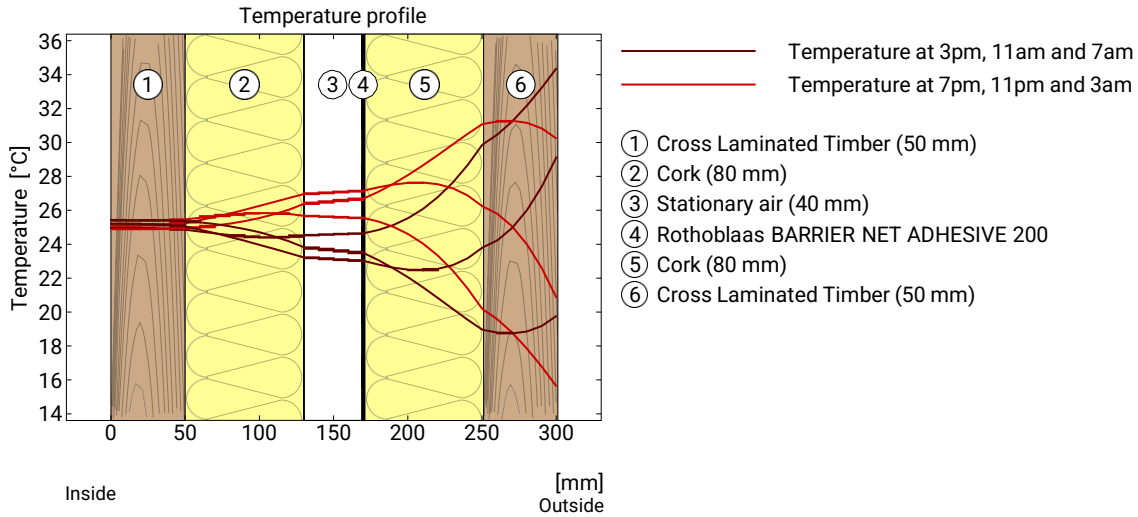
At least one moistened layer is not classified as water absorptive. The maximum allowed amount of condensation water is therefore 0.5 kg/m^2 .

Total amount of condensate: $M_c = 0,116 \text{ kg/m}^2$



Heat protection

The following results are properties of the tested component alone and do not make any statement about the heat protection of the entire room:



Top: Temperature profile within the component at different times. From top to bottom, brown lines: at 3 pm, 11 am and 7 am and red lines at 7 pm, 11 pm and 3 am.

Bottom: Temperature on the outer (red) and inner (blue) surface in the course of a day. The arrows indicate the location of the temperature maximum values . The maximum of the inner surface temperature should preferably occur during the second half of the night.

Phase shift*	14,8 h	Heat storage capacity (whole component):	126 kJ/m²K
Amplitude attenuation **	33,1	Thermal capacity of inner layers:	62 kJ/m²K
TAV ***	0,030		

* The phase shift is the time in hours after which the temperature peak of the afternoon reaches the component interior.

** The amplitude attenuation describes the attenuation of the temperature wave when passing through the component. A value of 10 means that the temperature on the outside varies 10x stronger than on the inside, e.g. outside 15-35 °C, inside 24-26 °C.

*** The temperature amplitude ratio TAV is the reciprocal of the attenuation: TAV = 1 / amplitude attenuation

Note: The heat protection of a room is influenced by several factors, but essentially by the direct solar radiation through windows and the total amount of heat storage capacity (including floor, interior walls and furniture). A single component usually has only a very small influence on the heat protection of the room.

Módulo Paredes Chuveiro

Thermal protection

$U = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

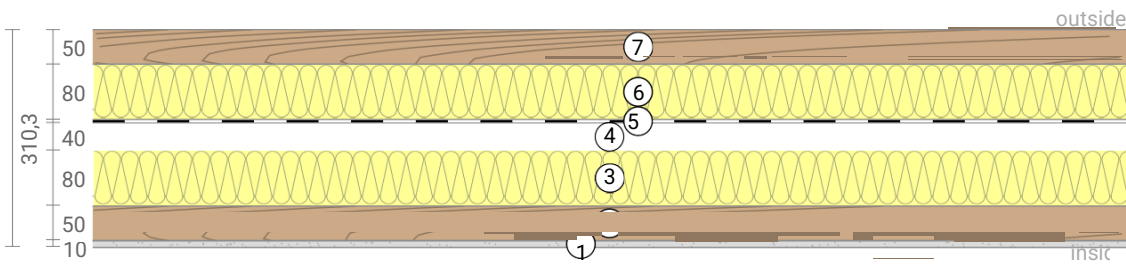
GEG 2020 Bestand*: $U < 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Moisture proofing

Drying reserve: $147 \text{ g}/\text{m}^2\text{a}$
Dries 28 days
Condensate: $66 \text{ g}/\text{m}^2$

Heat protection

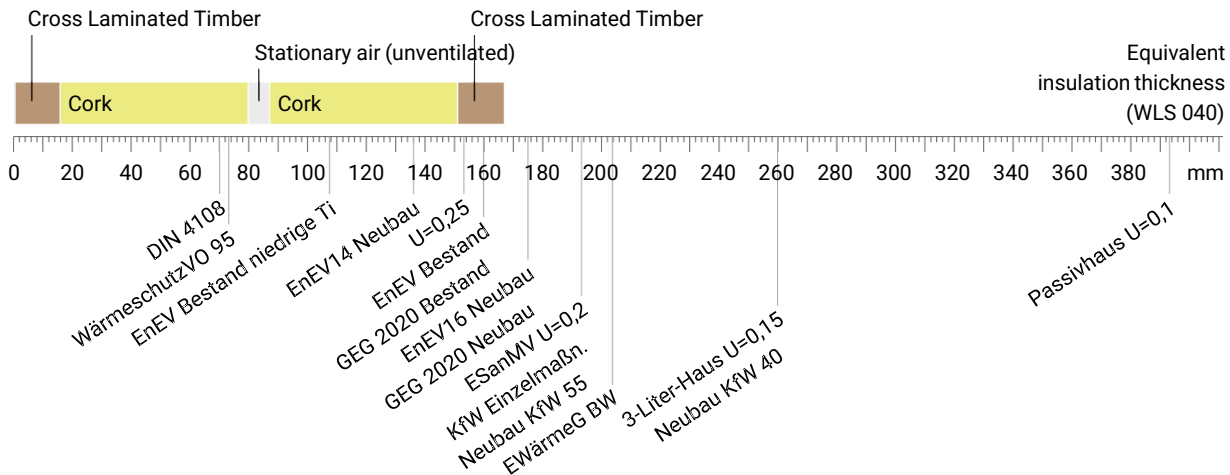
Temperature amplitude damping: 47
phase shift: 15,5 h
Thermal capacity inside: $78 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$



- ① Tiles (10 mm)
- ② Cross Laminated Timber (50 mm)
- ③ Cork (80 mm)
- ④ Stationary air (40 mm)
- ⑤ Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200
- ⑥ Cork (80 mm)
- ⑦ Cross Laminated Timber (50 mm)

Impact of each layer and comparison to reference values

For the following figure, the thermal resistances of the individual layers were converted in millimeters insulation. The scale refers to an insulation of thermal conductivity $0,040 \text{ W}/\text{mK}$.



Inside air : $20,0^\circ\text{C} / 50\%$
Outside air: $-5,0^\circ\text{C} / 80\%$
Surface temperature.: $18,6^\circ\text{C} / -4,8^\circ\text{C}$

sd-value: $61,8 \text{ m}$
Drying reserve: $147 \text{ g}/\text{m}^2\text{a}$

Thickness: $31,0 \text{ cm}$
Weight: $96 \text{ kg}/\text{m}^2$
Heat capacity: $143 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$

- GEG 2020 Bestand
- BEG Einzelmaßn.
- GEG 2020 Neubau
- DIN 4108

Módulo Paredes Chuveiro, $U=0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

U-Value calculation according to DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Thermal contact resistance inside (Rsi)			0,130
1	Tiles (ceramic)	1,00	1,200	0,008
2	Cross Laminated Timber	5,00	0,130	0,385
3	Cork	8,00	0,050	1,600
4	Stationary air (unventilated)	4,00	0,222	0,180
5	Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	0,03	0,400	0,001
6	Cork	8,00	0,050	1,600
7	Cross Laminated Timber	5,00	0,130	0,385
	Thermal contact resistance outside (Rse)			0,040

Thermal contact resistances have been taken from DIN 6946 Table 7.

Rsi: heat flow direction horizontally

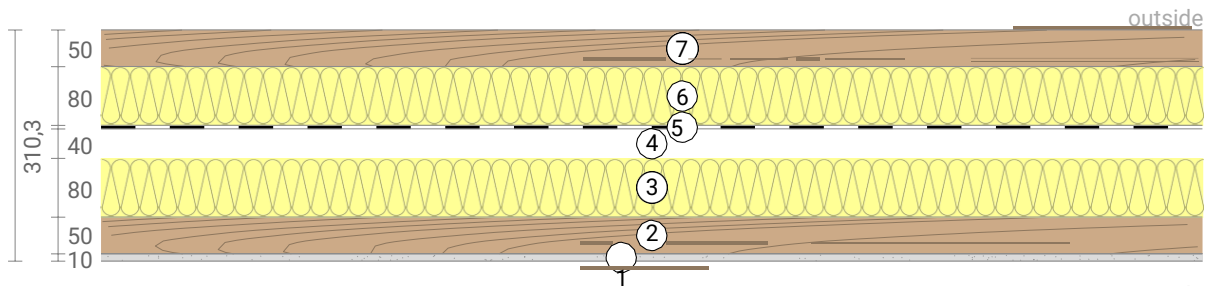
Rse: heat flow direction horizontally, outside: Direct contact to outside air

Thermal transfer resistances of resting air layers were calculated as follows:

Layer 4: Thickness 4 cm, Width ∞ , DIN EN ISO 6946 Table 8, heat flow direction horizontally Thermal

resistance $R_{\text{tot}} = 4,328 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

Heat transfer coefficient $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



Módulo Paredes Chuveiro, U=0,23 W/(m²K)

LCA

Heat loss: 13 kWh/m² per heating season



Amount of heat that escapes through one square meter of this component during the heating period. Please note: Due to internal and solar gains, the heating demand is lower than the heat loss.

Primary energy (non renewable): 152 kWh/m²



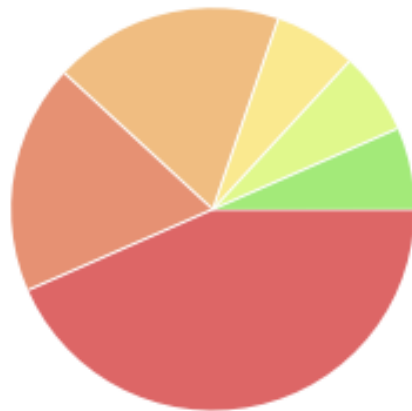
Non-renewable primary energy (= energy from fossil fuels and nuclear energy) that was used to produce the new building materials ("cradle to gate").

Green house gas potential: -88 kg CO2 Äqv./m²



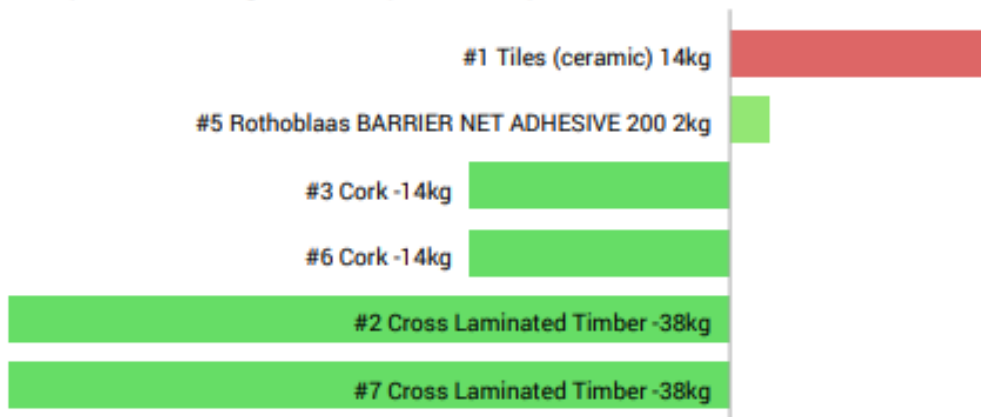
For the production of the building materials used, more greenhouse gases were withdrawn from the atmosphere than emitted.

Composition of non-renewable primary energy of production:

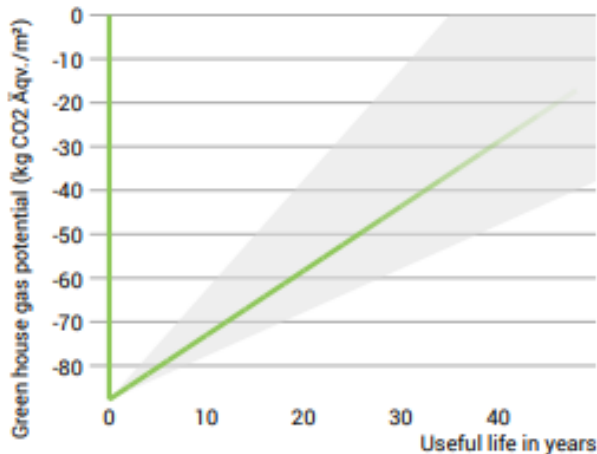


- Tiles (10 mm) 43%
- Cork (80 mm) 18%
- Cork (80 mm) 18%
- Cross Laminated Timber (50 mm) 7%
- Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200 7%
- Cross Laminated Timber (50 mm) 7%

Composition of the greenhouse potential of production:



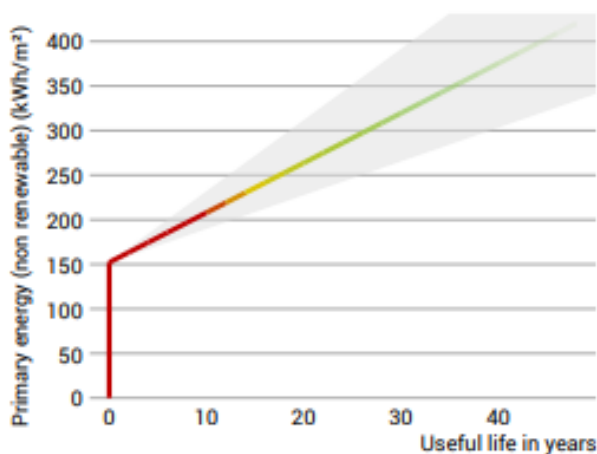
Global warming potential and primary energy for construction and use



The **left figure** shows the global warming potential of the production of the component in the vertical part of the curve. Greenhouse gas emissions (through heating) arising during use of the building are indicated by the upward curve.

The **figure at the bottom left** shows the non-renewable primary energy expenditure for the production of the component in the vertical part of the curve. The primary energy required during use of the building (through heating) is represented by the upward curve.

The longer the component is used unchanged, the more environmentally friendly it is, because the production costs contribute less to the total emissions (indicated by the color of the curve).



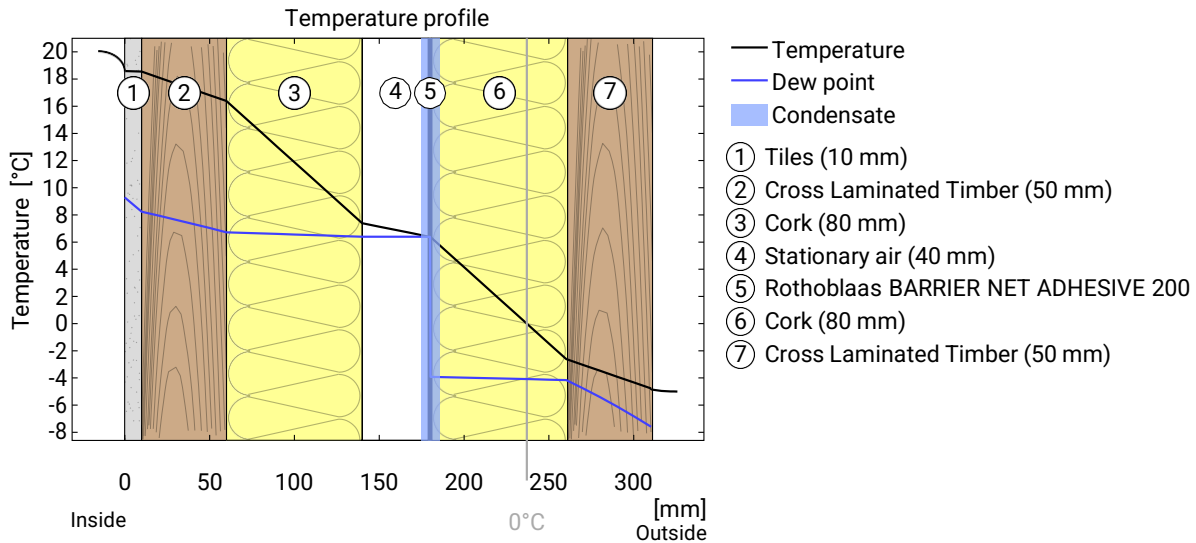
Due to unknown solar and internal gains, the heating demand can only be estimated. Accordingly, primary energy consumption and global warming potential during the use phase are only vaguely known. For the estimation it was assumed that solar and internal profits contribute with $4 \text{ kWh}/\text{a}/\text{m}^2$ component area. The light gray area indicates the area in which the curve is located with great certainty. For heat generation, a primary energy input of $0,60 \text{ kWh}$ per kWh of heat and a global warming potential of $0,16 \text{ kg CO}_2 \text{ eqv}/\text{m}^2$ per kWh of heat was used. Heat source: Heat pump (air-water).

Hints

Calculated for the location H1 a Trappes, heating period from Mid of October to End of April. The calculation is based on monthly average temperatures. Source: Réglementation Thermique 2012

The climate and energy data on which this calculation is based can, in some cases, show considerable fluctuations and, in individual cases, deviate considerably from the actual value.

Temperature profile



Temperature and dew-point temperature in the component. The dew-point indicates the temperature, at which water vapour condensates. As long as the temperature of the component is everywhere above the dew-point temperature, no condensation occurs. If the curves have contact, condensation occurs at the corresponding position.

Layers (from inside to outside)

#	Material	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Temperatur [°C]		Weight [kg/m²]
				min	max	
	Thermal contact resistance*		0,250	18,6	20,0	
1	1 cm Tiles (ceramic)	1,200	0,008	18,5	18,6	20,0
2	5 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,385	16,4	18,5	25,0
3	8 cm Cork	0,050	1,600	7,4	16,4	12,8
4	4 cm Stationary air (unventilated)	0,222	0,180	6,4	7,4	0,0
5	0,03 cm Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	0,400	0,001	6,4	6,4	0,2
6	8 cm Cork	0,050	1,600	-2,6	6,4	12,8
7	5 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,385	-4,8	-2,6	25,0
	Thermal contact resistance*		0,040	-5,0	-4,8	
31,03 cm Whole component			4,328			95,8

*Thermal contact resistances according to DIN 4108-3 for moisture protection and temperature profile. The values for the U-value calculation can be found on the page 'U-value calculation'.

Surface temperature inside (min / average / max): 18,6°C 18,6°C 18,6°C
 Surface temperature outside (min / average / max): -4,8°C -4,8°C -4,8°C

Módulo Paredes Chuveiro, U=0,23 W/(m²K)

Moisture proofing

For the calculation of the amount of condensation water, the component was exposed to the following constant climate for 90 days: inside: 20°C und 50% Humidity; outside: -5°C und 80% Humidity. This climate complies with DIN 4108-3.

Under these conditions, a total of 0,066 kg of condensation water per square meter is accumulated. This quantity dries in summer in 28 days (Drying season according to DIN 4108-3:2018-10).

Drying reserve according to DIN 4108-3:2018: 147 g/(m²a)
 At least required by DIN 68800-2: 100 g/(m²a)

#	Material	sd-value [m]	Condensate		Weight [kg/m²]
			[kg/m²]	[Gew.-%]	
1	1 cm Tiles (ceramic)	1,50	-	-	20,0
2	5 cm Cross Laminated Timber	2,00	-	-	25,0
3	8 cm Cork	0,40	-	-	12,8
4	4 cm Stationary air (unventilated)	0,01	0,066	-	0,0
5	0,03 cm Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	47,10	0,066	-	0,2
6	8 cm Cork	0,80	-	-	12,8
7	5 cm Cross Laminated Timber	10,00	-	-	25,0
31,03 cm Whole component		61,81	0,066	-	95,8

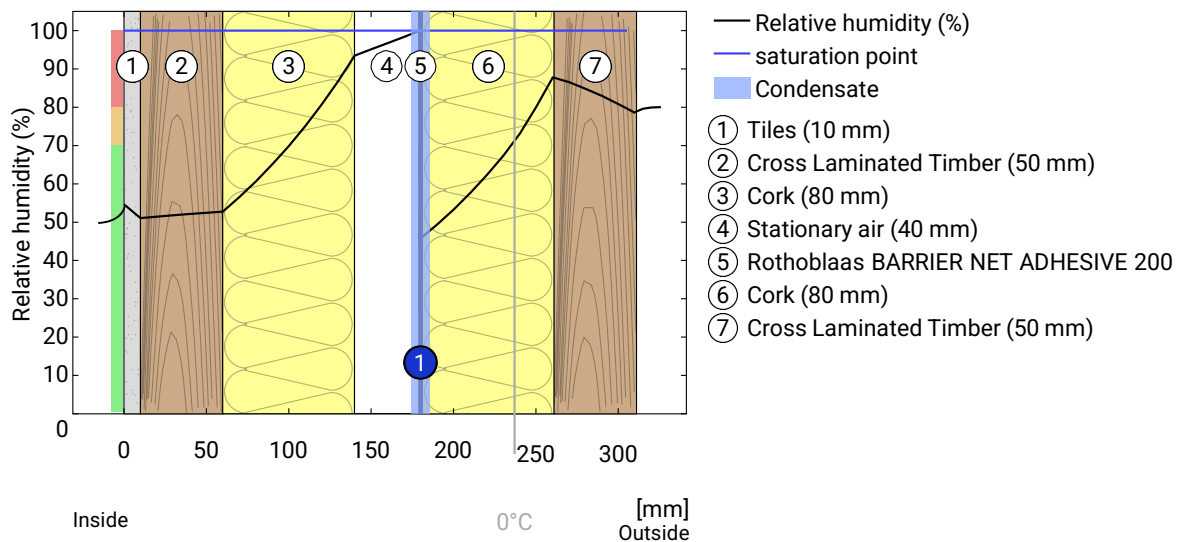
Condensation areas

- ① Condensate: 0,066 kg/m² Affected layers: Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200, Stationary air (unventilated)

Humidity

The temperature of the inside surface is 18,6 °C leading to a relative humidity on the surface of 55%. Mould formation is not expected under these conditions.

The following figure shows the relative humidity inside the component.



Notes: Calculation using the Ubakus 2D-FE method. Convection and the capillarity of the building materials were not considered. The drying time may take longer under unfavorable conditions (shading, damp / cool summers) than calculated here.

Moisture protection in accordance with DIN 4108-3:2018 Appendix A

This moisture proofing is only valid for **non-air-conditioned** residential buildings. Please note the hints at the end of these moisture proofing calculations.

#	Material	λ [W/mK]	R [m²K/W]	sd [m]	ρ [kg/m³]	T [°C]	ps [Pa]	Σ sd [m]
Thermal contact resistance			0,250			18,59	2142	0
1	1 cm Tiles (ceramic)	1,200	0,008	1,5	2000	18,55	2136	1,5
2	5 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,385	2	500	16,39	1863	3,5
3	8 cm Cork	0,050	1,600	0,4	160	7,39	1029	3,9
4	4 cm Stationary air (unventilated)	0,222	0,180	0,01	1	6,38	960	3,91
5	0,03 cm Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	0,400	0,001	47,1	667	6,38	960	51
6	8 cm Cork	0,050	1,600	0,8	160	-2,61	491	51,8
7	5 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,385	10	500	-4,78	409	61,8
Thermal contact resistance			0,040					

Temperature (T), vapor saturation pressure (ps), and the sum of the sd-values (Σ sd) apply to the layer boundary.

Relative air humidity on the surface

The relative humidity on the interior surface is 55%. Requirements for the prevention of building material corrosion depend on material and coating and have not been investigated.



Dew period (winter)

Boundary conditions

Vapor pressure inside at 20°C and 50% humidity

$p_i = 1168$ Pa

Vapor pressure outside at -5°C and 80% humidity

$p_e = 321$ Pa

Duration of condensation period (90 days)

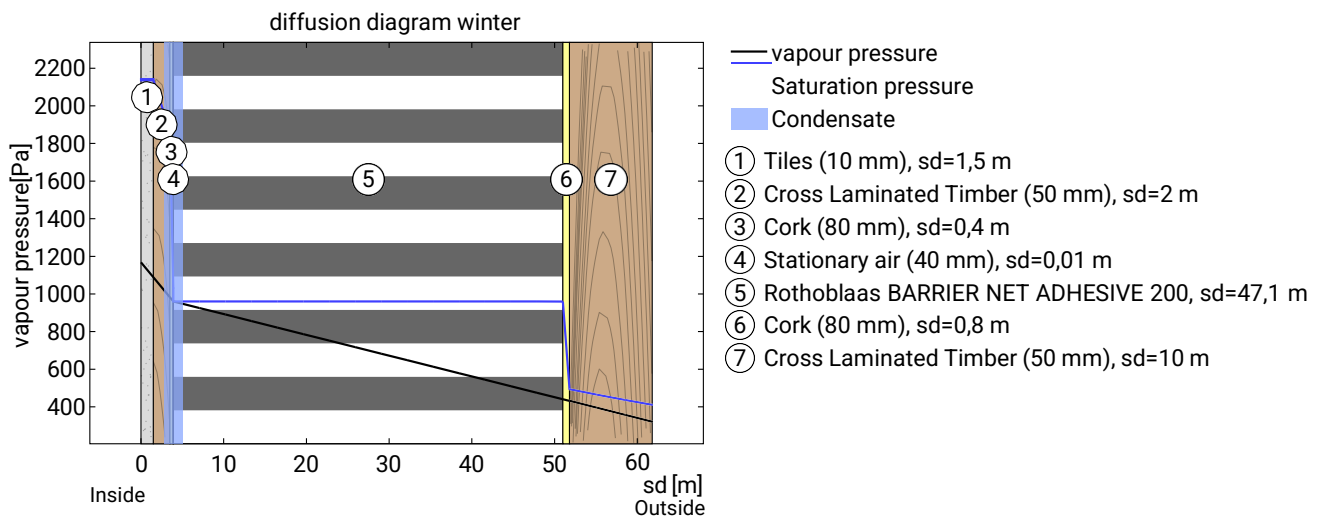
$t_c = 7776000$ s

Water vapor diffusion coefficient in static air

$\delta_0 = 2.0E-10$ kg/(m*s*Pa)

sd-value (Whole component.)

$s_{de} = 61,81$ m



Condensation area c₁: Layer boundary between Stationary air (unventilated) and Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200 at $s_{dc1}=3,91$ m; $p_{c1}=960$ Pa; $x_1=18$ cm

Condensate amount: $M_c = t_c * \delta_0 * ((p_i - p_{c1}) / s_{dc1} - (p_{c1} - p_e) / (s_{de} - s_{dc1})) = 0,066$ kg/m²

Stationary air (unventilated) wird als nicht wasseraufnahmefähig eingestuft weil $A_w < 0.1$ ist.

Für Schicht Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200 wurde noch kein Wasseraufnahmekoeffizient hinterlegt. Es wird deshalb angenommen, dass mindestens eine Schicht nicht kapillar wasseraufnahmefähig ist.

At least one moistened layer is not classified as water absorptive. The maximum allowed amount of condensation water is therefore 0.5 kg/m².

Total amount of condensate: $M_c = 0,066$ kg/m²

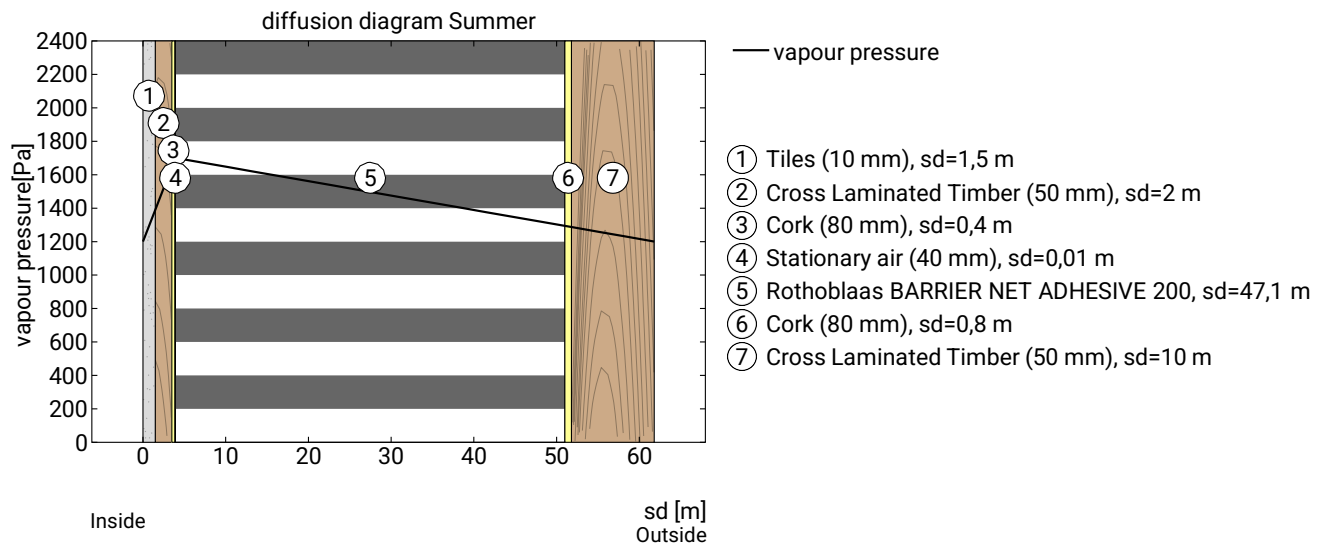


Módulo Paredes Chuveiro, $U=0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Evaporation period (summer)

Boundary conditions

Interior vapor pressure	$p_i = 1200 \text{ Pa}$
Exterior vapor pressure	$p_e = 1200 \text{ Pa}$
Saturation vapour pressure in the condensation area	$p_s = 1700 \text{ Pa}$
Length of drying season (90 days)	$t_{ev} = 7776000 \text{ s}$
sd-values remain unchanged.	



Maximum possible evaporation mass

$$M_{ev} = t_c \cdot \delta_0 \cdot \left(\frac{p_s - p_i}{s_{d_{c1}}} + \frac{p_s - p_e}{(s_{d_e} - s_{d_{c1}})} \right) = 0,212 \text{ kg/m}^2$$

The condensation amount of $0,066 \text{ kg/m}^2$ can dry completely.



Drying reserve (DIN 68800-2)

$$\text{Drying reserve: } M_r = (M_{ev} - M_c) \cdot 1000 = 147 \text{ g/m}^2/\text{a}$$

Minimum requested for walls and ceilings: $100 \text{ g/m}^2/\text{a}$



Evaluation according to DIN 4108-3

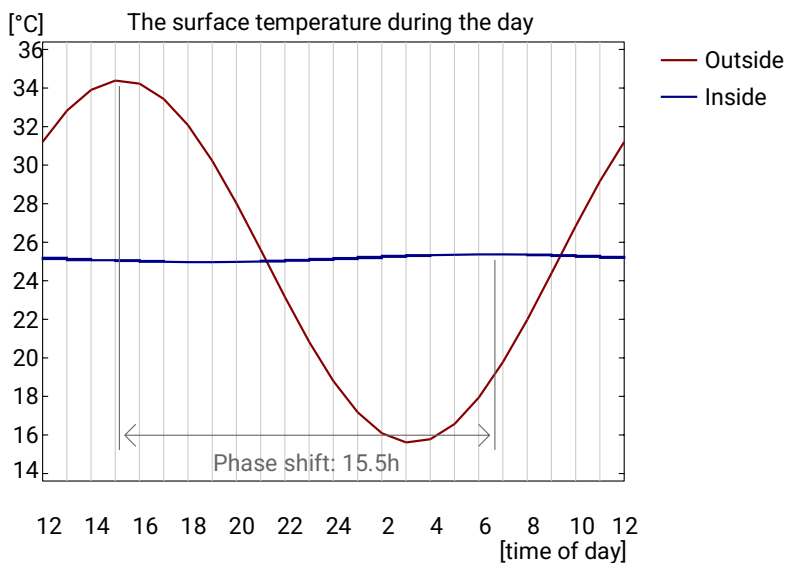
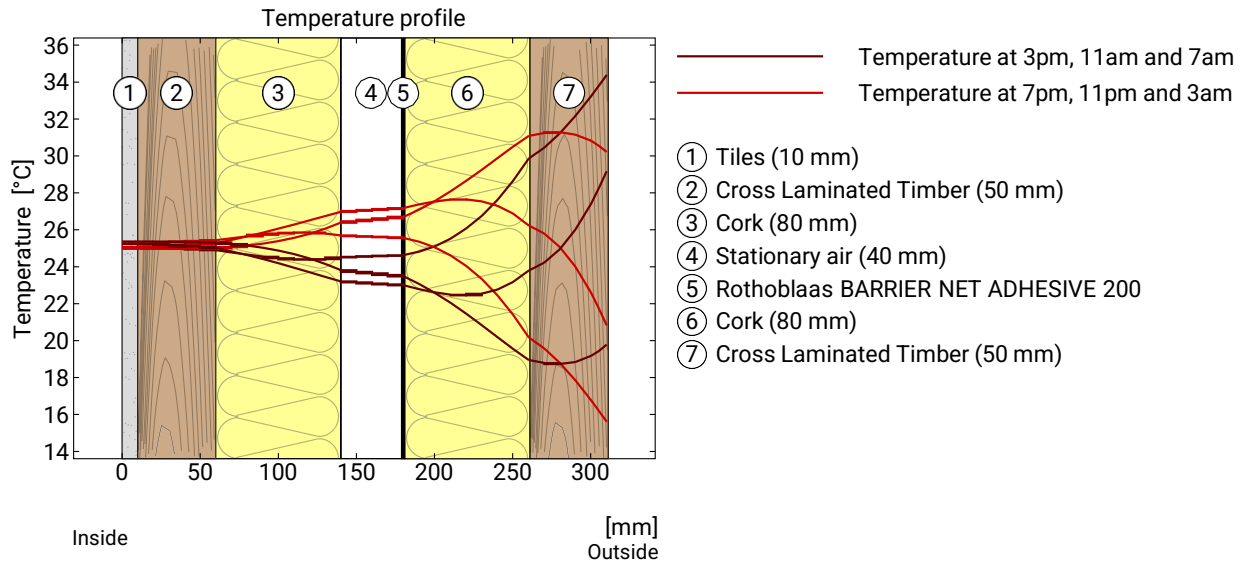
The component is permissible regarding the moisture protection.

Hints

DIN 4108-3 describes in Section 5.3 components for which no moisture proofing is required as there is no risk of condensation water or the method is not suitable for the assessment. It is not possible to assess whether the component under test is underneath.

Heat protection

The following results are properties of the tested component alone and do not make any statement about the heat protection of the entire room:



Top: Temperature profile within the component at different times. From top to bottom, brown lines: at 3 pm, 11 am and 7 am and red lines at 7 pm , 11 pm and 3 am.

Bottom: Temperature on the outer (red) and inner (blue) surface in the course of a day. The arrows indicate the location of the temperature maximum values . The maximum of the inner surface temperature should preferably occur during the second half of the night.

Phase shift*	15,5 h	Heat storage capacity (whole component):	143 kJ/m ² K
Amplitude attenuation **	46,5	Thermal capacity of inner layers:	78 kJ/m ² K
TAV ***	0,022		

* The phase shift is the time in hours after which the temperature peak of the afternoon reaches the component interior.

** The amplitude attenuation describes the attenuation of the temperature wave when passing through the component. A value of 10 means that the temperature on the outside varies 10x stronger than on the inside, e.g. outside 15-35 °C, inside 24-26 °C.

*** The temperature amplitude ratio TAV is the reciprocal of the attenuation: $TAV = 1 / \text{amplitude attenuation}$

Note: The heat protection of a room is influenced by several factors, but essentially by the direct solar radiation through windows and the total amount of heat storage capacity (including floor, interior walls and furniture). A single component usually has only a very small influence on the heat protection of the room.

Parede entre casas de banho

Thermal protection

$U = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

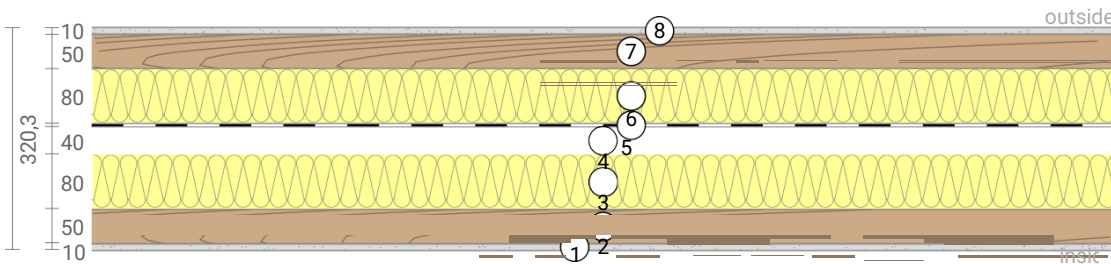
GEG 2020 Bestand*: $U < 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Moisture proofing

Drying reserve: $146 \text{ g}/\text{m}^2\text{a}$
Dries 28 days
Condensate: $66 \text{ g}/\text{m}^2$

Heat protection

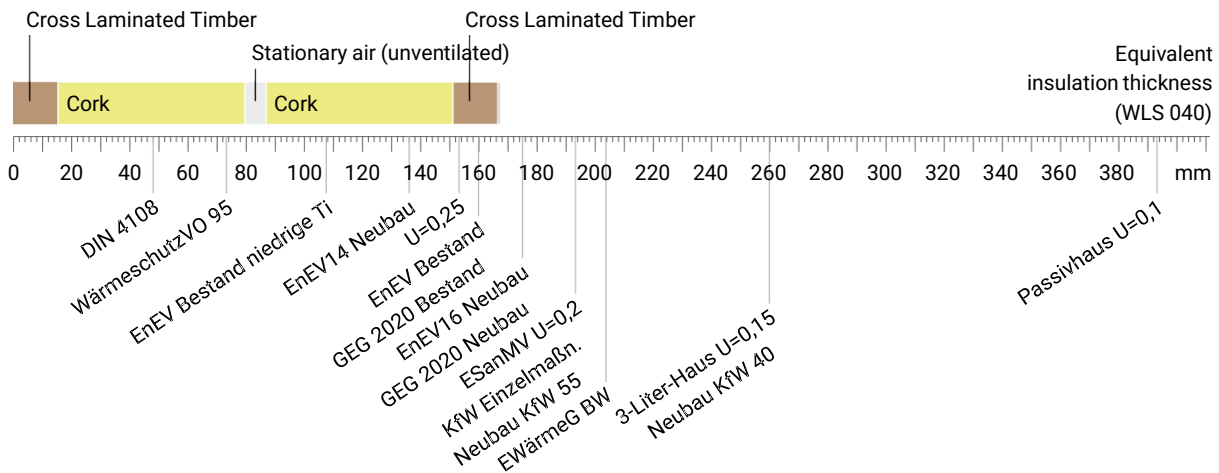
Temperature amplitude damping: 47
phase shift: 15,5 h
Thermal capacity inside: $78 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$



- ① Tiles (10 mm)
- ② Cross Laminated Timber (50 mm)
- ③ Cork (80 mm)
- ④ Stationary air (40 mm)
- ⑤ Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200
- ⑥ Cork (80 mm)
- ⑦ Cros Laminated Timber (50 mm)
- ⑧ Tiles (10 mm)

Impact of each layer and comparison to reference values

For the following figure, the thermal resistances of the individual layers were converted in millimeters insulation. The scale refers to an insulation of thermal conductivity $0,040 \text{ W}/\text{mK}$.



Inside air : $20,0^\circ\text{C} / 50\%$
Outside air: $-5,0^\circ\text{C} / 80\%$
Surface temperature.: $18,6^\circ\text{C} / -4,8^\circ\text{C}$

sd-value: 64,8 m
Drying reserve: $146 \text{ g}/\text{m}^2\text{a}$

Thickness: 32,0 cm
Weight: $116 \text{ kg}/\text{m}^2$
Heat capacity: $160 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$

- GEG 2020 Bestand BEG Einzelmaßn. GEG 2020 Neubau DIN 4108

Parede entre casas de banho, $U=0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

U-Value calculation according to DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Thermal contact resistance inside (Rsi)			0,130
1	Tiles (ceramic)	1,00	1,200	0,008
2	Cross Laminated Timber	5,00	0,130	0,385
3	Cork	8,00	0,050	1,600
4	Stationary air (unventilated)	4,00	0,222	0,180
5	Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	0,03	0,400	0,001
6	Cork	8,00	0,050	1,600
7	Cross Laminated Timber	5,00	0,130	0,385
8	Tiles (ceramic)	1,00	1,200	0,008
	Thermal contact resistance outside (Rse)			0,040

Thermal contact resistances have been taken from DIN 6946 Table 7.

Rsi: heat flow direction horizontally

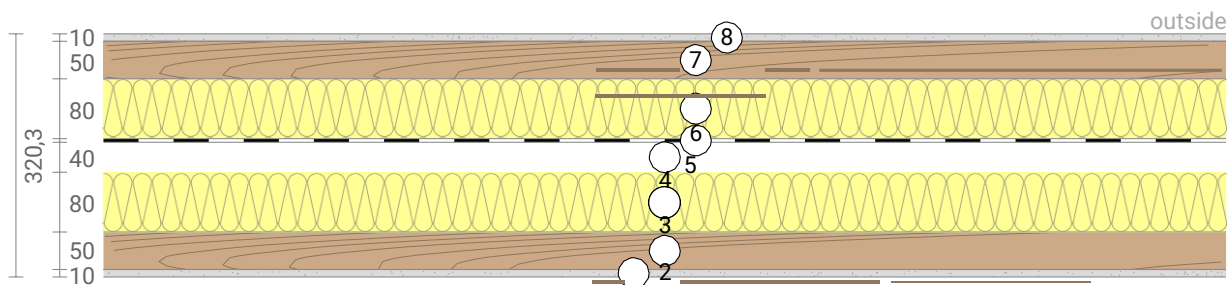
Rse: heat flow direction horizontally, outside: Direct contact to outside air

Thermal transfer resistances of resting air layers were calculated as follows:

Layer 4: Thickness 4 cm, Width ∞ , DIN EN ISO 6946 Table 8, heat flow direction horizontally

resistance $R_{\text{tot}} = 4,337 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

Heat transfer coefficient $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



Parede entre casas de banho, U=0,23 W/(m²K)

LCA

Heat loss: 18 kWh/m² per heating season



Amount of heat that escapes through one square meter of this component during the heating period. Please note: Due to internal and solar gains, the heating demand is lower than the heat loss.

Primary energy (non renewable): 218 kWh/m²



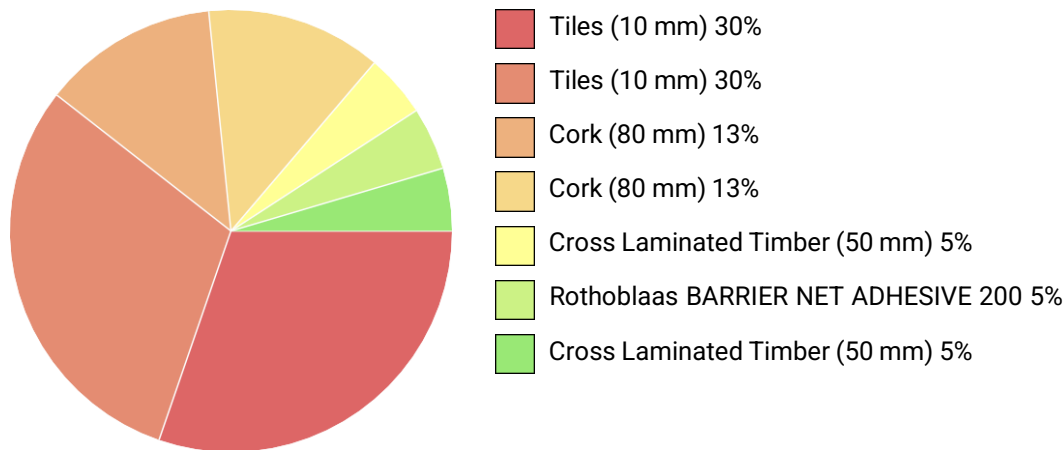
Non-renewable primary energy (= energy from fossil fuels and nuclear energy) that was used to produce the new building materials ("cradle to gate").

Green house gas potential: -74 kg CO₂ Äqv./m²

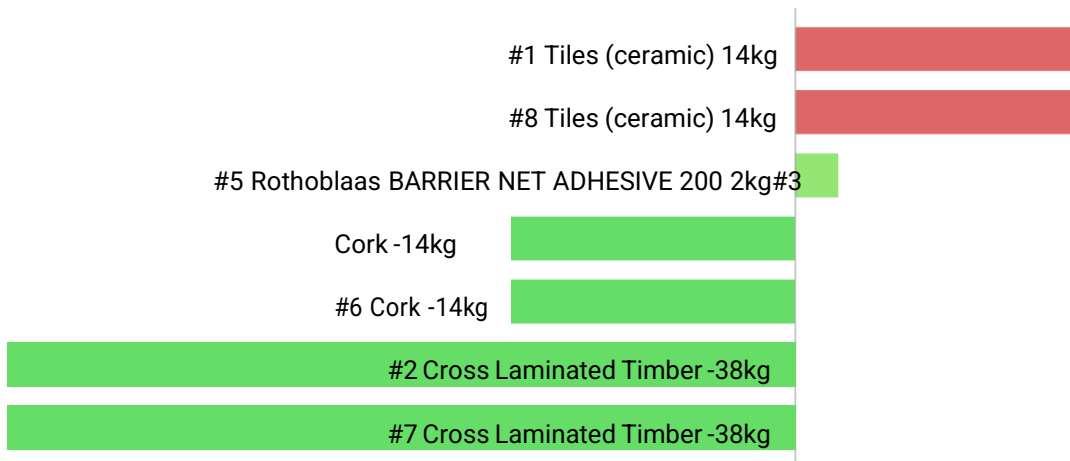


For the production of the building materials used, more greenhouse gases were withdrawn from the atmosphere than emitted.

Composition of non-renewable primary energy of production:

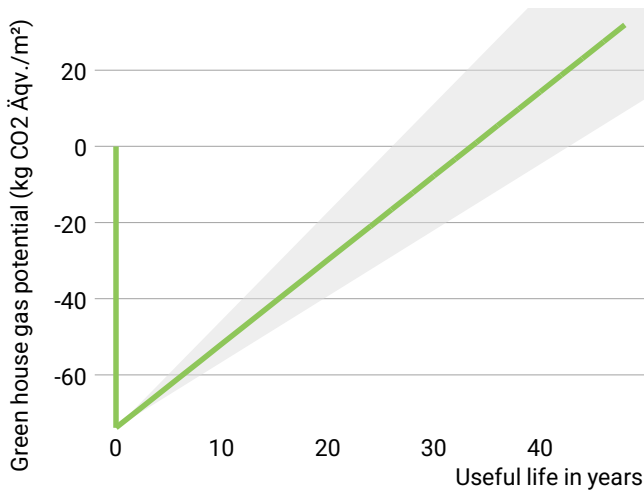


Composition of the greenhouse potential of production:



Parede entre casas de banho, $U=0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

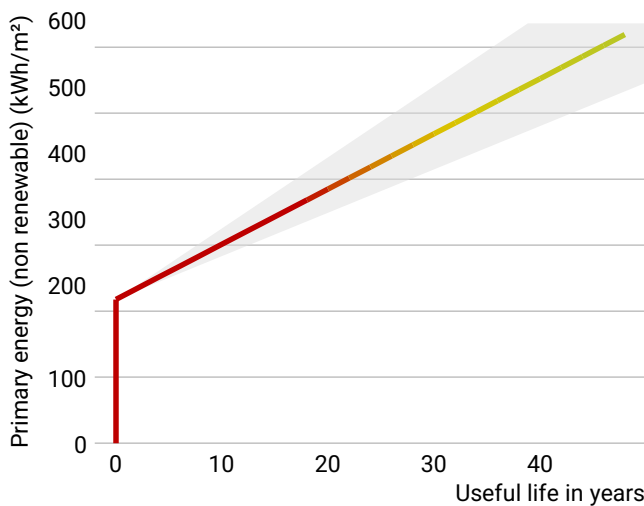
Global warming potential and primary energy for construction and use



The **left figure** shows the global warming potential of the production of the component in the vertical part of the curve. Greenhouse gas emissions (through heating) arising during use of the building are indicated by the upward curve.

The **figure at the bottom left** shows the non-renewable primary energy expenditure for the production of the component in the vertical part of the curve. The primary energy required during use of the building (through heating) is represented by the upward curve.

The longer the component is used unchanged, the more environmentally friendly it is, because the production costs contribute less to the total emissions (indicated by the color of the curve).



Due to unknown solar and internal gains, the heating demand can only be estimated. Accordingly, primary energy consumption and global warming potential during the use phase are only vaguely known. For the estimation it was assumed that solar and internal profits contribute with $4 \text{ kWh}/\text{a}/\text{m}^2$ component area. The light gray area indicates the area in which the curve is located with great certainty. For heat generation, a primary energy input of $0,60 \text{ kWh}$ per kWh of heat and a global warming potential of $0,16 \text{ kg CO}_2 \text{ eqv}/\text{m}^2$ per kWh of heat was used. Heat source: Heat pump (air-water).

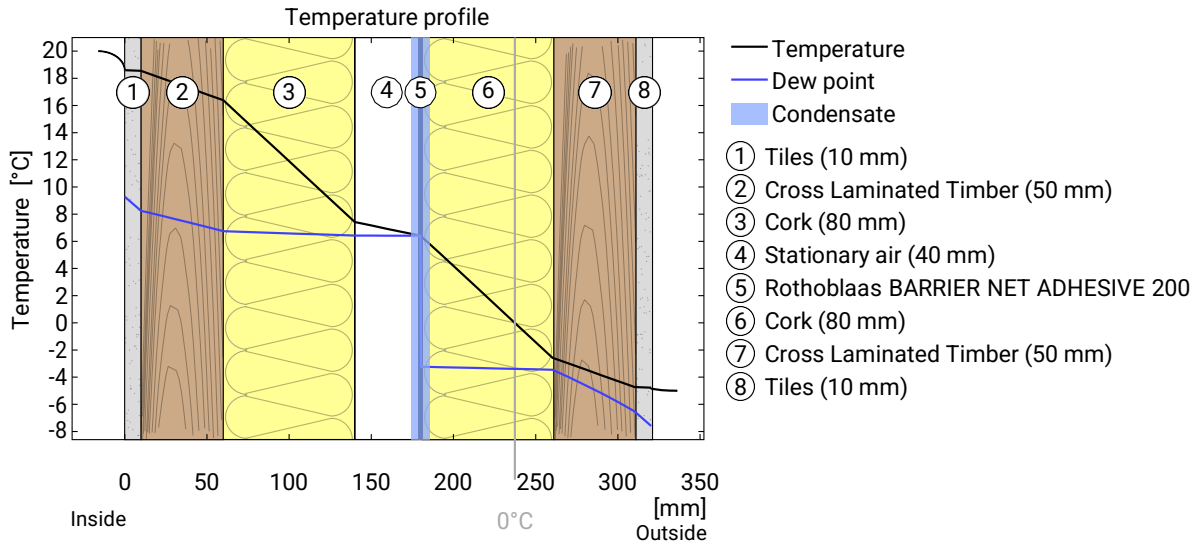
Hints

Calculated for the location DIN V 18599, heating period from Mid of October to End of April. The calculation is based on monthly average temperatures. Source: DIN V 18599-10:2007-02

The climate and energy data on which this calculation is based can, in some cases, show considerable fluctuations and, in individual cases, deviate considerably from the actual value.

Parede entre casas de banho, U=0,23 W/(m²K)

Temperature profile



Temperature and dew-point temperature in the component. The dew-point indicates the temperature, at which water vapour condensates. As long as the temperature of the component is everywhere above the dew-point temperature, no condensation occurs. If the curves have contact, condensation occurs at the corresponding position.

Layers (from inside to outside)

#	Material	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Temperatur [°C]		Weight [kg/m²]
				min	max	
	Thermal contact resistance*		0,250	18,6	20,0	
1	1 cm Tiles (ceramic)	1,200	0,008	18,6	18,6	20,0
2	5 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,385	16,4	18,6	25,0
3	8 cm Cork	0,050	1,600	7,4	16,4	12,8
4	4 cm Stationary air (unventilated)	0,222	0,180	6,4	7,4	0,0
5	0,03 cm Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	0,400	0,001	6,4	6,4	0,2
6	8 cm Cork	0,050	1,600	-2,6	6,4	12,8
7	5 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,385	-4,7	-2,6	25,0
8	1 cm Tiles (ceramic)	1,200	0,008	-4,8	-4,7	20,0
	Thermal contact resistance*		0,040	-5,0	-4,8	
32,03 cm Whole component			4,337			115,8

*Thermal contact resistances according to DIN 4108-3 for moisture protection and temperature profile. The values for the U-value calculation can be found on the page 'U-value calculation'.

Surface temperature inside (min / average / max): 18,6°C 18,6°C 18,6°C
 Surface temperature outside (min / average / max): -4,8°C -4,8°C -4,8°C

Parede entre casas de banho, $U=0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Moisture proofing

For the calculation of the amount of condensation water, the component was exposed to the following constant climate for 90 days: inside: 20°C und 50% Humidity; outside: -5°C und 80% Humidity. This climate complies with DIN 4108-3.

Under these conditions, a total of 0,066 kg of condensation water per square meter is accumulated. This quantity dries in summer in 28 days (Drying season according to DIN 4108-3:2018-10).

Drying reserve according to DIN 4108-3:2018: 146 g/(m²a)
 At least required by DIN 68800-2: 100 g/(m²a)

#	Material	sd-value [m]	Condensate [kg/m ²] [Gew.-%]	Weight [kg/m ²]
1	1 cm Tiles (ceramic)	1,50	-	20,0
2	5 cm Cross Laminated Timber	2,00	-	25,0
3	8 cm Cork	0,40	-	12,8
4	4 cm Stationary air (unventilated)	0,01	0,066	0,0
5	0,03 cm Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	47,10	0,066	0,2
6	8 cm Cork	0,80	-	12,8
7	5 cm Cross Laminated Timber	10,00	-	25,0
8	1 cm Tiles (ceramic)	3,00	-	20,0
32,03 cm Whole component		64,81	0,066	115,8

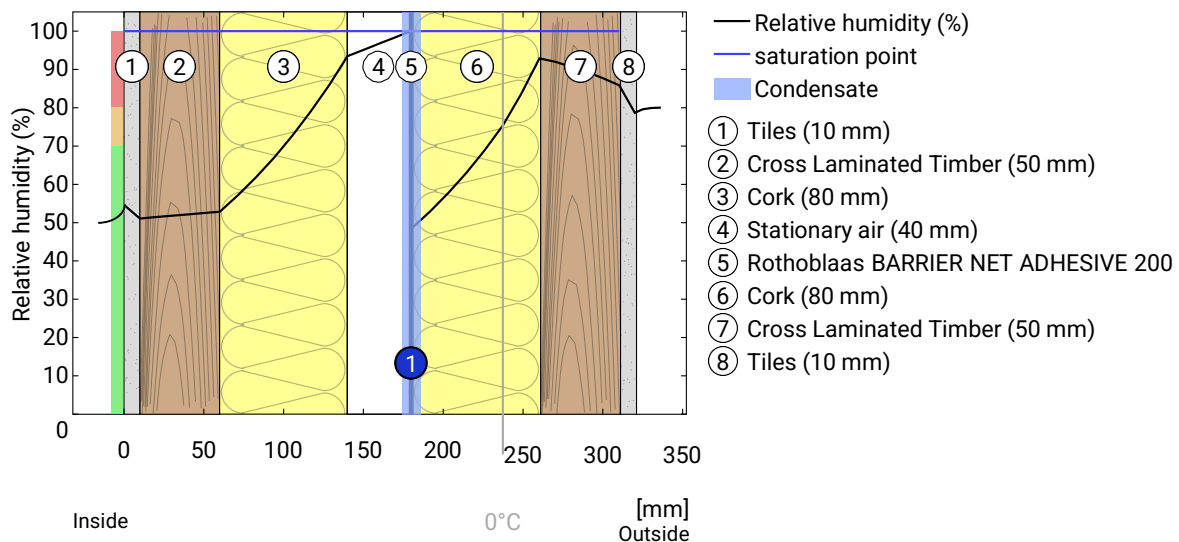
Condensation areas

- ① Condensate: 0,066 kg/m² Affected layers: Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200, Stationary air (unventilated)

Humidity

The temperature of the inside surface is 18,6 °C leading to a relative humidity on the surface of 55%. Mould formation is not expected under these conditions.

The following figure shows the relative humidity inside the component.



Notes: Calculation using the Ubakus 2D-FE method. Convection and the capillarity of the building materials were not considered. The drying time may take longer under unfavorable conditions (shading, damp / cool summers) than calculated here.

Parede entre casas de banho, U=0,23 W/(m²K)

Moisture protection in accordance with DIN 4108-3:2018 Appendix A

This moisture proofing is only valid for **non-air-conditioned** residential buildings. Please note the hints at the end of these moisture proofing calculations.

#	Material	λ [W/mK]	R [m²K/W]	sd [m]	ρ [kg/m³]	T [°C]	ps [Pa]	Σ sd [m]
Thermal contact resistance			0,250					
1	1 cm Tiles (ceramic)	1,200	0,008	1,5	2000	18,60	2142	0
2	5 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,385	2	500	18,55	2136	1,5
3	8 cm Cork	0,050	1,600	0,4	160	16,39	1864	3,5
4	4 cm Stationary air (unventilated)	0,222	0,180	0,01	1	7,42	1031	3,9
5	0,03 cm Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200	0,400	0,001	47,1	667	6,41	962	3,91
6	8 cm Cork	0,050	1,600	0,8	160	6,40	962	51
7	5 cm Cross Laminated Timber	0,130	0,385	10	500	-2,57	493	51,8
8	1 cm Tiles (ceramic)	1,200	0,008	3	2000	-4,73	411	61,8
Thermal contact resistance			0,040			-4,78	409	64,8

Temperature (T), vapor saturation pressure (ps), and the sum of the sd-values (Σ sd) apply to the layer boundary.

Relative air humidity on the surface

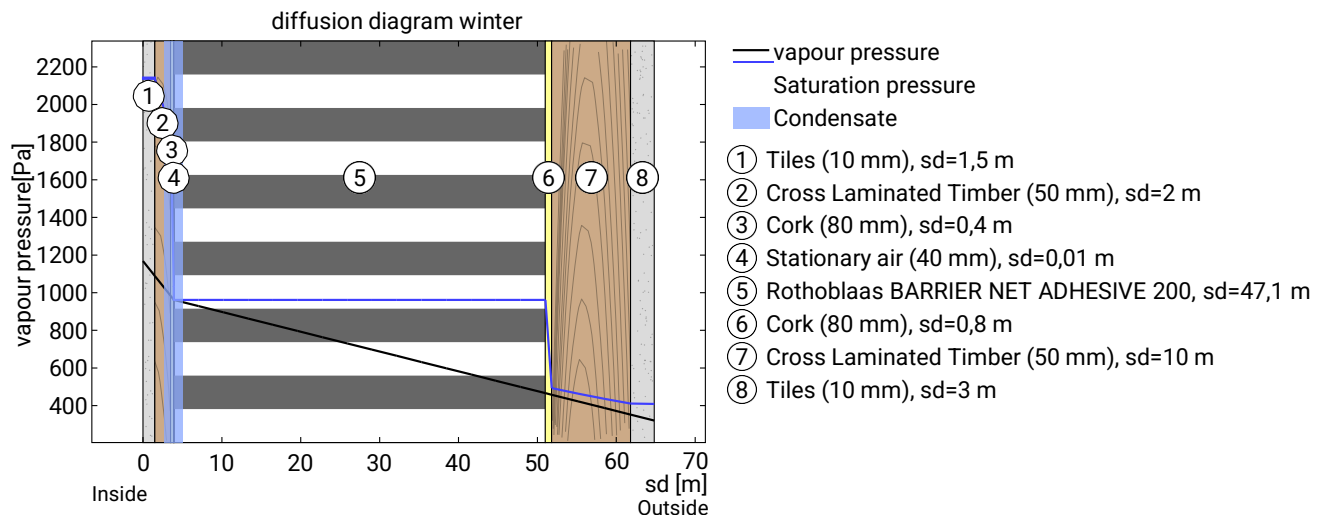
The relative humidity on the interior surface is 55%. Requirements for the prevention of building material corrosion depend on material and coating and have not been investigated.



Dew period (winter)

Boundary conditions

Vapor pressure inside at 20°C and 50% humidity	$p_i = 1168$ Pa
Vapor pressure outside at -5°C and 80% humidity	$p_e = 321$ Pa
Duration of condensation period (90 days)	$t_c = 7776000$ s
Water vapor diffusion coefficient in static air	$\delta_0 = 2.0E-10$ kg/(m*s*Pa)
sd-value (Whole component.)	$s_{de} = 64,81$ m



Condensation area c_1 : Layer boundary between Stationary air (unventilated) and Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200 at $s_{d,c_1}=3,91$ m; $p_{c_1}=962$ Pa; $x_1=18$ cm

Condensate amount: $M_c = t_c * \delta_0 * ((p_i - p_{c_1}) / s_{d,c_1} - (p_{c_1} - p_e) / (s_{de} - s_{d,c_1})) = 0,066$ kg/m²

Stationary air (unventilated) wird als nicht wasseraufnahmefähig eingestuft weil $A_w < 0.1$ ist.

Für Schicht Rothoblaas BARRIER NET ADHESIVE 200 wurde noch kein Wasseraufnahmekoeffizient hinterlegt. Es wird deshalb angenommen, dass mindestens eine Schicht nicht kapillar wasseraufnahmefähig ist.

At least one moistened layer is not classified as water absorptive. The maximum allowed amount of condensation water is therefore 0.5 kg/m².

Total amount of condensate: $M_c = 0,066$ kg/m²

Parede entre casas de banho, $U=0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Evaporation period (summer)

Boundary conditions

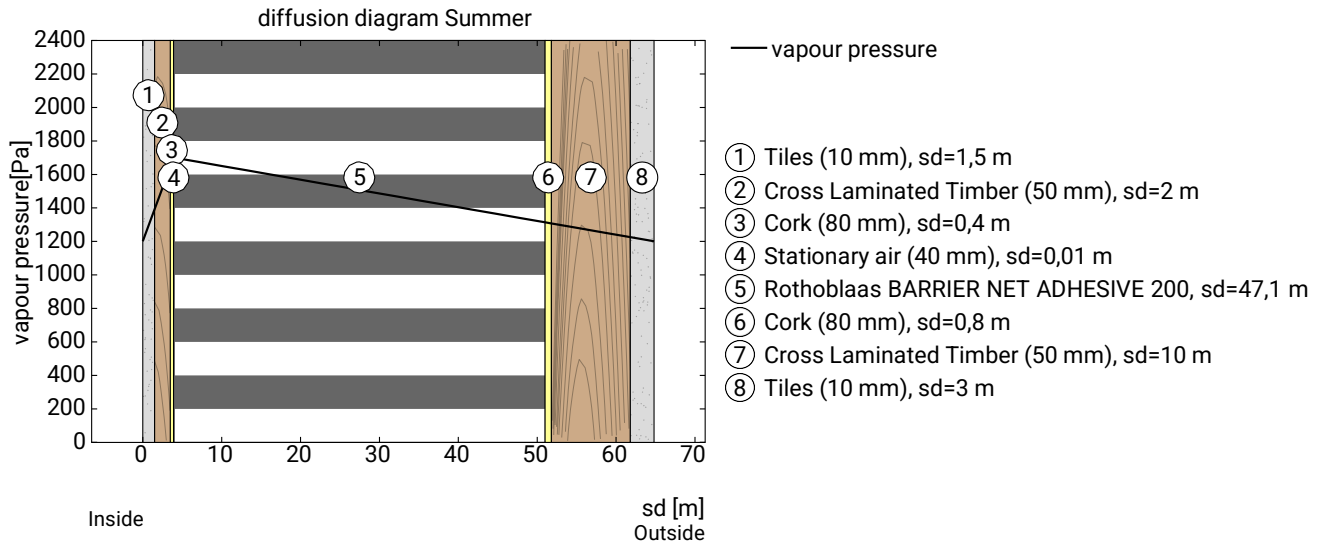
Interior vapor pressure $p_i = 1200 \text{ Pa}$

Exterior vapor pressure $p_e = 1200 \text{ Pa}$

Saturation vapour pressure in the condensation area $p_s = 1700 \text{ Pa}$

Length of drying season (90 days) $t_{ev} = 7776000 \text{ s}$

sd-values remain unchanged.



Maximum possible evaporation mass

$$M_{ev} = t_c * 60 * ((p_s - p_i) / s_{d_{c1}} + (p_s - p_e) / (s_{d_e} - s_{d_{c1}})) = 0,212 \text{ kg/m}^2$$

The condensation amount of $0,066 \text{ kg/m}^2$ can dry completely.



Drying reserve (DIN 68800-2)

$$M_r = (M_{ev} - M_c) * 1000 = 146 \text{ g/m}^2/\text{a}$$

Minimum requested for walls and ceilings: $100 \text{ g/m}^2/\text{a}$



Evaluation according to DIN 4108-3

The component is permissible regarding the moisture protection.

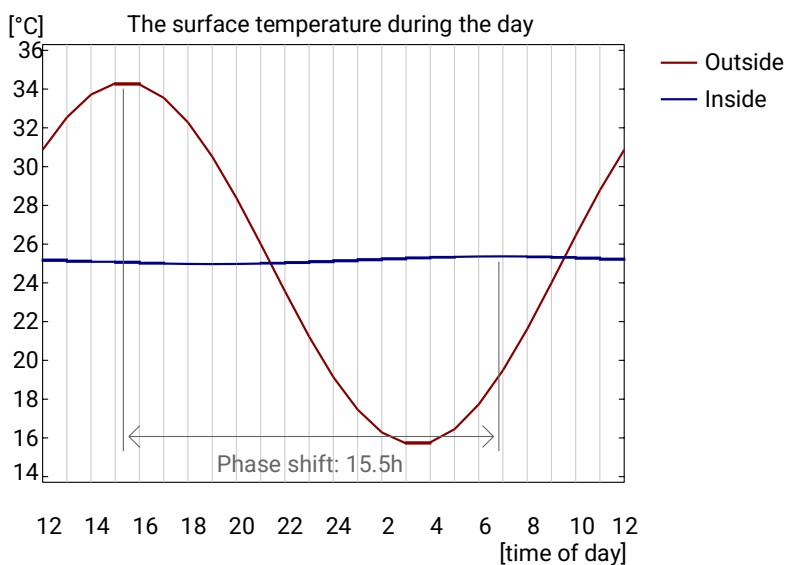
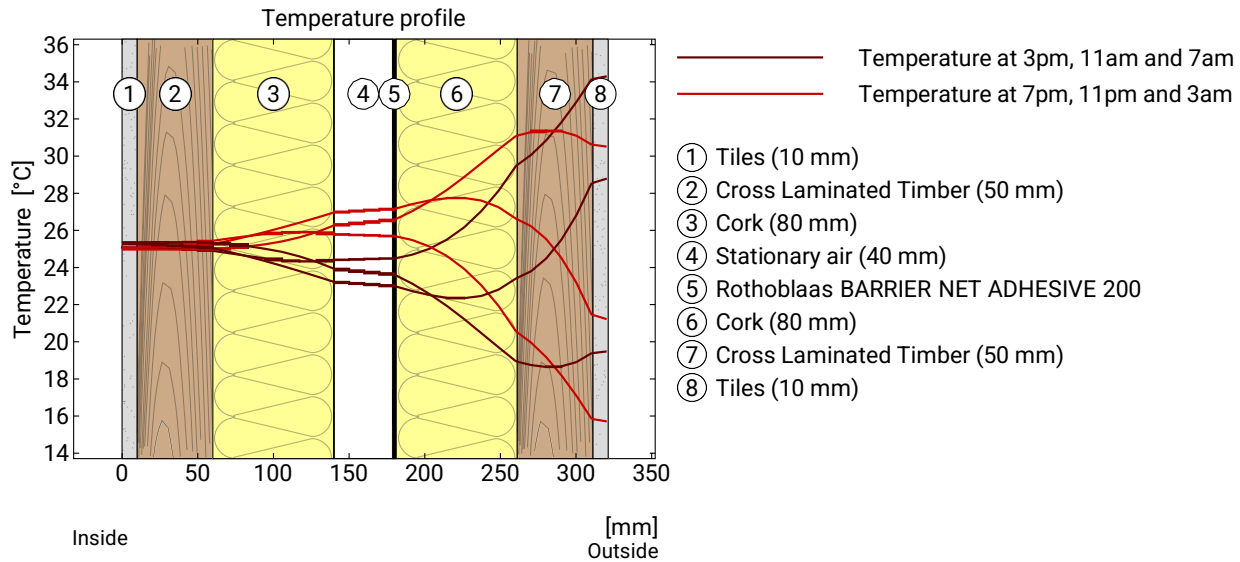
Hints

DIN 4108-3 describes in Section 5.3 components for which no moisture proofing is required as there is no risk of condensation water or the method is not suitable for the assessment. It is not possible to assess whether the component under test is underneath.

Parede entre casas de banho, $U=0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Heat protection

The following results are properties of the tested component alone and do not make any statement about the heat protection of the entire room:



Top: Temperature profile within the component at different times. From top to bottom, brown lines: at 3 pm, 11 am and 7 am and red lines at 7 pm, 11 pm and 3 am.

Bottom: Temperature on the outer (red) and inner (blue) surface in the course of a day. The arrows indicate the location of the temperature maximum values . The maximum of the inner surface temperature should preferably occur during the second half of the night.

Phase shift*	15,5 h	Heat storage capacity (whole component):	160 kJ/m ² K
Amplitude attenuation **	47,2	Thermal capacity of inner layers:	78 kJ/m ² K
TAV ***	0,021		

* The phase shift is the time in hours after which the temperature peak of the afternoon reaches the component interior.

** The amplitude attenuation describes the attenuation of the temperature wave when passing through the component. A value of 10 means that the temperature on the outside varies 10x stronger than on the inside, e.g. outside 15-35 °C, inside 24-26 °C.

*** The temperature amplitude ratio TAV is the reciprocal of the attenuation: $TAV = 1 / \text{amplitude attenuation}$

Note: The heat protection of a room is influenced by several factors, but essentially by the direct solar radiation through windows and the total amount of heat storage capacity (including floor, interior walls and furniture). A single component usually has only a very small influence on the heat protection of the room.

ANEXO III - ANÁLISE AO FOGO COM RECURSO À ETA DE CADA MATERIAL



Austrian Institute of Construction Engineering
Schenkenstrasse 4 | T +43 1 533 65 50
1010 Vienna | Austria | F +43 1 533 64 23
www.oib.or.at | mail@oib.or.at



Member of



www.eota.eu

European Technical Assessment

ETA-14/0349
of 06.04.2020

General part

**Technical Assessment Body issuing
the European Technical Assessment**

Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB)
Austrian Institute of Construction Engineering

Trade name of the construction product

CLT – Cross Laminated Timber

**Product family to which the
construction product belongs**

Solid wood slab elements to be used as structural
elements in buildings

Manufacturer

Stora Enso Wood Products OY Ltd
Kanavaranta 1
00160 Helsinki
Finland

See Annex 1

Manufacturing plants

33 pages including 6 Annexes which form an
integral part of this assessment.

**This European Technical Assessment
contains**

European Assessment Document (EAD)
130005-00-0304 “Solid wood slab element to be
used as a structural element in buildings”.

European Technical Assessment ETA-14/0349 of
03.06.2019.

Components

1.1.1 Boards

The specification of the boards is given in Annex 3, Table 2. Boards are visually or machine strength graded. Only technically dried wood shall be used.

Wood species is European spruce or equivalent softwood.

1.1.2 Lamellae type "REX"

The specification of the lamellae type "REX" is given in Annex 2, Table 2. Lamellae type "REX" are extracted from symmetrical cross laminated timber of European spruce, fir or pine of boards with min. strength class $\geq 90\%$ T14 and $\leq 10\%$ T11 according to EN 338. Lamellae type "REX" show a predefined percentage of end grain on the face of the lamellae, see Figure 4. Only technically dried wood shall be used.

1.1.3 Wood-based panels

The specification of the wood-based panels is given in Annex 3, Table 2. Wood-based panels are in accordance with EN 13986 or a European Technical Assessment.

1.1.4 Adhesive

The adhesive for bonding of the cross laminated timber and the finger joints of the individual boards shall conform to EN 301 or EN 15425.

Specification of the intended use(s) in accordance with the applicable European Assessment Document (thereafter EAD)

1.2 Intended use

The solid wood slab is intended to be used as a structural or non-structural element in buildings and timber structures.

The solid wood slab shall be subjected to static and quasi-static actions only.

The solid wood slab is intended to be used in service classes 1 and 2 according to EN 1995-1-1³. Members which are directly exposed to the weather shall be provided with an effective protection for the solid wood slab element in service.

General assumptions

The solid wood slab elements are manufactured in accordance with the provisions of the European Technical Assessment using the manufacturing process as identified in the inspection of the manufacturing plant by Österreichisches Institut für Bautechnik and laid down in the technical file.

The manufacturer shall ensure that the requirements in accordance with the Clauses 1, 2 and 3 as well as with the Annexes of the European Technical Assessment are made known to those who are concerned with design and execution of the works.

Layers of planed boards shall be bonded together to the required thickness of the cross laminated timber. The individual boards shall be jointed in longitudinal direction by means of finger joints according to EN 14080, there shall be no butt joints.

Adhesive shall be applied on one face of each board. The edges of the boards need not to be bonded.

³ Reference documents are listed in Annex 6.

Design

The European Technical Assessment only applies to the manufacture and use of cross laminated timber. Verification of stability of the works including application of loads on the cross laminated timber is not subject to the European Technical Assessment.

The following conditions shall be observed:

- Design of cross laminated timber members is carried out under the responsibility of an engineer experienced in such products.
- Design of the works shall account for the protection of the cross laminated timber.
- The cross laminated timber members are installed correctly.

Design of cross laminated timber members elements may be according to EN 1995-1-1 and EN 1995-1-2, taking into account of Annex 3 of the European Technical Assessment.

Standards and regulations in force at the place of use shall be considered.

Packaging, transport, storage, maintenance, replacement and repair

Concerning product packaging, transport, storage, maintenance, replacement and repair it is the responsibility of the manufacturer to undertake the appropriate measures and to advise his clients on the transport, storage, maintenance, replacement and repair of the product as he considers necessary.

Installation

It is assumed that the product will be installed according to the manufacturer's instructions or (in absence of such instructions) according to the usual practice of the building professionals.

Assumed working life

The provisions made in the European Technical Assessment (ETA) are based on an assumed intended working life of CLT – Cross Laminated Timber of 50 years, when installed in the works, provided that the cross laminated timber elements are subject to appropriate installation, use and maintenance (see Clause 2.2). These provisions are based upon the current state of the art and the available knowledge and experience⁴.

The indications given as to the working life of the construction product cannot be interpreted as a guarantee neither given by the product manufacturer or his representative nor by EOTA nor by the Technical Assessment Body, but are regarded only as a means for choosing the appropriate products in relation to the expected economically reasonable working life of the works.

⁴ The real working life of a product incorporated in a specific works depends on the environmental conditions to which that works is subject, as well as on the particular conditions of the design, execution, use and maintenance of that works. Therefore, it cannot be excluded that in certain cases the real working life of the product can also be shorter than the assumed working life.

1.3.1 Hygiene, health and the environment

The release of dangerous substances is determined according to EAD 130005-00-0304, "Solid wood slab element to be used as a structural element in buildings". No dangerous substances is the performance of CLT – Cross Laminated Timber in this respect.

NOTE In addition to the specific clauses relating to dangerous substances contained in the European Technical Assessment, there may be other requirements applicable to the products falling within its scope (e.g. transposed European legislation and national laws, regulations and administrative provisions). In order to meet the provisions of the Construction Products Regulation, these requirements need also to be complied with, when and where they apply.

Assessment methods

1.3.2 General

The assessment of the essential characteristics in Clause 3.1 of CLT – Cross Laminated Timber for the intended use, and in relation to the requirements for mechanical resistance and stability, for safety in case of fire, for hygiene, health and the environment, for safety and accessibility in use, for protection against noise and for energy economy and heat retention in use in the sense of the basic requirements for construction works № 1 to 6 of Regulation (EU) № 305/2011 has been made in accordance with the European Assessment Document EAD 130005-00-0304, Solid wood slab element to be used as a structural element in buildings.

1.3.3 Identification

The European Technical Assessment for CLT – Cross Laminated Timber is issued on the basis of agreed data that identify the assessed product. Changes to materials, to composition, to characteristics of the product, or to the production process could result in these deposited data being incorrect. Österreichisches Institut für Bautechnik should be notified before the changes are implemented, as an amendment of the European Technical Assessment is possibly necessary.

Assessment and verification of constancy of performance (thereafter AVCP) system applied, with reference to its legal base

1.4 System of assessment and verification of constancy of performance

According to Commission Decision 97/176/EC the system of assessment and verification of constancy of performance to be applied to CLT – Cross Laminated Timber is System 1. System 1 is detailed in Commission Delegated Regulation (EU) № 568/2014 of 18 February 2014, Annex, 1.2., and provides for the following items

- (a) The manufacturer shall carry out
 - (i) factory production control;
 - (ii) further testing of samples taken at the manufacturing plant by the manufacturer in accordance with a prescribed test plan⁵;
- (b) The notified product certification body shall decide on the issuing, restriction, suspension or withdrawal of the certificate of constancy of performance of the construction product on the basis of the outcome of the following assessments and verifications carried out by that body:
 - (i) an assessment of the performance of the construction product carried out on the basis of testing (including sampling), calculation, tabulated values or descriptive documentation of the product;

⁵ The prescribed test plan has been deposited with Österreichisches Institut für Bautechnik and is handed over only to the notified product certification body involved in the procedure for the assessment and verification of constancy of performance. The prescribed test plan is also referred to as control plan.

electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy

- (ii) initial inspection of the manufacturing plant and of factory production control;
- (iii) continuous surveillance, assessment and evaluation of factory production control.

AVCP for construction products for which a European Technical Assessment has been issued

Notified bodies undertaking tasks under System 1 shall consider the European Technical Assessment issued for the construction product in question as the assessment of the performance of that product. Notified bodies shall therefore not undertake the tasks referred to in point 4.1 (b)(i).

Technical details necessary for the implementation of the AVCP system, as provided for in the applicable European Assessment Document

1.5 Tasks for the manufacturer

1.5.1 Factory production control

In the manufacturing plant the manufacturer shall establish and continuously maintain a factory production control. All procedures and specification adopted by the manufacturer shall be documented in a systematic manner. The factory production control shall ensure the constancy of performances of CLT – Cross Laminated Timber with regard to the essential characteristics.

The manufacturer shall only use raw materials supplied with the relevant inspection documents as laid down in the control plan. The incoming raw materials shall be subject to controls by the manufacturer before acceptance. Check of incoming materials shall include control of inspection documents presented by the manufacturer of the raw materials.

The frequencies of controls conducted during manufacturing and on the assembled product are defined by taking account of the manufacturing process of the product and are laid down in the control plan.

The results of factory production control are recorded and evaluated. The records include at least the following data:

- Designation of the product, basic materials and components
- Type of control or test
- Date of manufacture of the product and date of testing of the product or basic materials or components
- Results of controls and tests and, if appropriate, comparison with requirements
- Name and signature of person responsible for factory production control

The records shall be kept at least for ten years time after the construction product has been placed on the market and shall be presented to the notified product certification body involved in continuous surveillance. On request they shall be presented to Österreichisches Institut für Bautechnik.

1.5.2 Declaration of performance

The manufacturer is responsible for preparing the declaration of performance. When all the criteria of the assessment and verification of constancy of performance are met, including the certificate of conformity issued by the notified product certification body, the manufacturer shall draw up a declaration of performance.

electronic copy
electronic copy
electronic copy
electronic copy
electronic copy
electronic copy

Tasks for the notified product certification body

1.5.3 Initial inspection of the manufacturing plant and of factory production control

The notified product certification body shall verify the ability of the manufacturer for a continuous and orderly manufacturing of CLT – Cross Laminated Timber according to the European Technical Assessment. In particular the following items shall be appropriately considered

- Personnel and equipment
- The suitability of the factory production control established by the manufacturer
- Full implementation of the control plan

1.5.4 Continuous surveillance, assessment and evaluation of factory production control

The notified product certification body shall visit the factory at least once a year for routine inspection. In particular the following items shall be appropriately considered

- The manufacturing process including personnel and equipment
- The factory production control
- The implementation of the control plan

The results of continuous surveillance are made available on demand by the notified product certification body to Österreichisches Institut für Bautechnik. When the provisions of the European Technical Assessment and the control plan are no longer fulfilled, the certificate of constancy of performance is withdrawn by the notified product certification body.

Issued in Vienna on 06.04.2020
by Österreichisches Institut für Bautechnik

The original document is signed by:

Rainer Mikulits Managing Director



electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy

Manufacturing plants in Austria

Stora Enso Wood Products Bad St.
Leonhard GmbH
Wisperndorf 4
9462 Bad St. LeonhardAustria

Stora Enso Wood Products GmbH
Bahnhofstraße 31
3370 YbbsAustria

Manufacturing plants in Sweden

Stora Enso Timber AB
Timmervägen 2
664 33 GrumsSweden

CLT – Cross Laminated Timber	Annex 1
Manufacturing plants	of European Technical Assessment ETA-14/0349 of 06.04.2020

Figure 1: Principle structure of the solid wood slab – Example

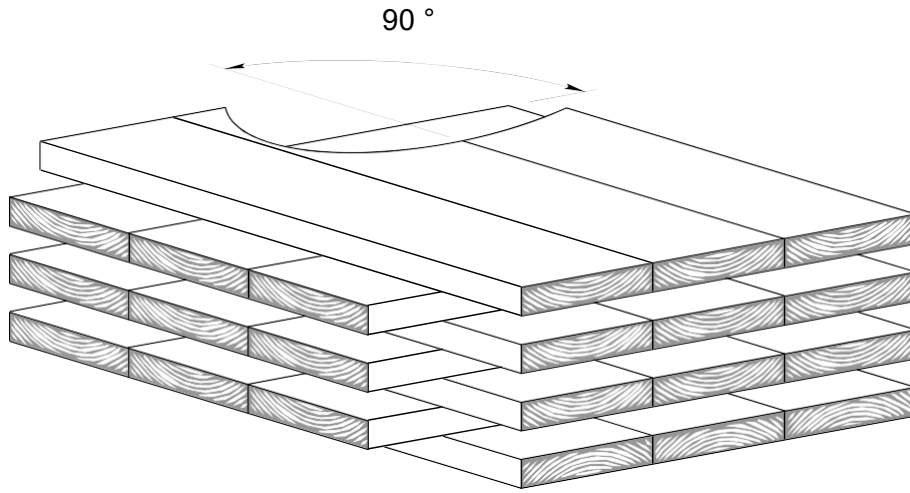


Figure 2: Principle structure of cross laminated timber with 3 layers – Example

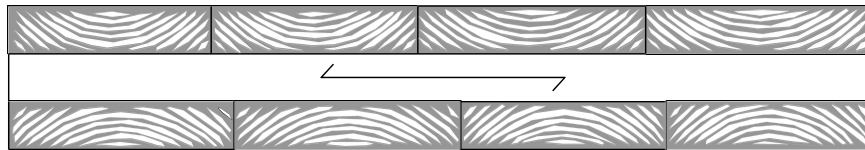
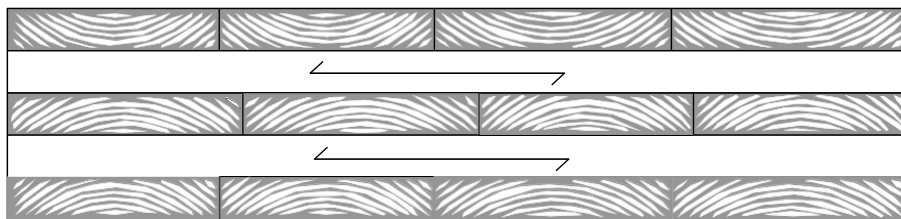


Figure 3: Principle structure of cross laminated timber with 5 layers – Example



CLT – Cross Laminated Timber

Annex 2

Structure of cross laminated timber

of European Technical Assessment
ETA-14/0349 of 06.04.2020

Figure 4: Pattern of lamellae type “REX” to be used as transverse layers

Type	Illustration	Lamellae type “REX”	Type	Illustration	Lamellae type “REX”
REX 60 L3s		20-20-20 33 % end grain in the face	REX 80 L3s		30-20-30 25 % end grain in the face
REX 90 L3s		30-30-30 33 % end grain in the face	REX 100 L3s		30-40-30 40 % end grain in the face
REX 100 L3s-B		40-20-40 20 % end grain in the face	REX 110 L3s		40-30-40 27 % end grain in the face
REX 120 L3s		40-40-40 33 % end grain in the face	REX 100 L5s		20-20-20-20-20 40 % end grain in the face
REX 120 L5s		30-20-20-20-30 33 % end grain in the face	REX 140 L5s		40-20-20-20-40 29 % end grain in the face
REX 160 L5s		40-20-40-20-40 25 % end grain in the face	REX 180 L5s		40-30-40-30-40 33 % end grain in the face

CLT – Cross Laminated Timber

Annex 2

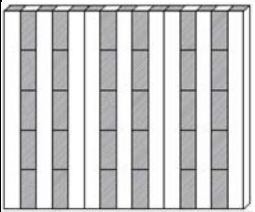
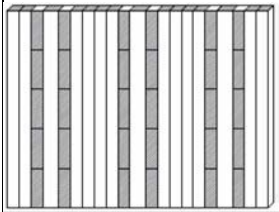
Structure of cross laminated timber

of European Technical Assessment
ETA-14/0349 of 06.04.2020

electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy



electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy

Type	Illustration	Lamellae type "REX"	Type	Drawing	Lamellae type "REX"
REX 200 L5s		40-40-40-40-40 40 % end grain in the face	REX 220 L7s-2		60-30-40-30-60 27 % end grain in the face

CLT – Cross Laminated Timber	Annex 2 of European Technical Assessment ETA-14/0349 of 06.04.2020
Structure of cross laminated timber	

Table 2: Dimensions and specifications

Item	Dimension / Specification	
Cross laminated timber		
Thickness	mm	42 to 350
Width	m	≤ 3.5
Length	m	≤ 16.5
Number of layers	—	3 to 20 symmetric assembly
Maximum number of adjacent layers arranged in the same direction	—	2 for n = 4 or n = 5 3 for n > 5
Maximum width of joints between boards within one layer	mm	3
Boards		
Surface	—	planed
Thickness (planed dimension)	mm	14 to 45
Width	mm	40 to 300
Ratio width to thickness ²⁾	—	≥ 2.2 : 1
Boards shall be graded with suitable visual and/or machine procedures to be able to assign them to a strength class according to EN 338.	—	Within one member of cross laminated timber only one of the specified combinations of strength classes shall be applied. 100 % C16 or T11 ¹⁾ ≥ 90 % C24 or T14 ¹⁾ / ≤ 10 % C16 or T11 ¹⁾ ≥ 90 % C30 or T21 ¹⁾ / ≤ 10 % C24 or T14 ¹⁾

¹⁾ According to EN 338.

²⁾ Except lamellae type "REX".

CLT – Cross Laminated Timber	Annex 3
Characteristic data of cross laminated timber	of European Technical Assessment ETA-14/0349 of 06.04.2020

Item	Dimension / Specification	
Moisture of wood according to EN 13183-2	%	6 to 15 % Within one member of cross laminated timber the moisture content shall not differ by more than 5 %.
Finger joints	—	EN 14080
Lamellae type "REX"	—	See Annex 2, Figure 4 percentage of end grain in the face: 20 % to 40 %
Wood-based panels	—	EN 13986

CLT – Cross Laminated Timber

Annex 3

Characteristic data of cross laminated timber

of European Technical Assessment
ETA-14/0349 of 06.04.2020



Table 3: Product characteristics of the solid wood slab

BWR	Essential characteristic	Assessment method	Level / Class / Description
1	Mechanical resistance and stability		
	1. Mechanical actions perpendicular to cross laminated timber ¹⁾		
	Strength class of boards	EN 338	See Table 2
	Modulus of elasticity		
	– parallel to the grain of the boards $E_{0, mean}$	EAD 130005-00-0304, 2.2.1.1, I_{eff}	C16/T11 8 000 MPa C24/T14 12 000 MPa ²⁾ C30/T21 12 000 MPa
	– perpendicular to the grain of the boards $E_{90, mean}$	EN 338	C16/T11 270 MPa C24/T14 370 MPa C30/T21 400 MPa
	Shear modulus		
	– parallel to the grain of the boards $G_{090, mean}$	EN 338	C16/T11 500 MPa C24/T14 690 MPa C30/T21 750 MPa
	– perpendicular to the grain of the boards (rolling shear) $G_{9090, mean}$	EAD 130005-00-0304, 2.2.1.1	50 MPa
	Bending strength		
– parallel to the grain of the boards $f_{m, k}$	EAD 130005-00-0304, 2.2.1.1, W_{eff}	C16/T11 $1/k_{sys} \cdot 17.6 \text{ MPa}^3)$ C24/T14 $1/k_{sys} \cdot 26.4 \text{ MPa}^3)$ C30/T21 $1/k_{sys} \cdot 33.0 \text{ MPa}^3)$	
Tensile strength			
– perpendicular to the grain of the boards $f_{t, 90, k}$	EN 338, reduced	0.12 MPa	
Compressive strength	EN 338		
– perpendicular to the grain of the boards $f_{c, 90, k}$		C16/T11 2.2 MPa C24/T14 2.5 MPa C30/T21 2.7 MPa	

NOTE ¹⁾ CLT – Cross Laminated Timber with transverse layers of lamellae type “REX” may be considered equivalent to C24/T14
²⁾ $E_{0, mean} = 6800 \text{ MPa}$
³⁾ $k_{sys} = \max \{ 1.0; 1.1 - 0.025 \cdot n \}$ $n \dots$ number of boards with C30/T21

CLT – Cross Laminated Timber

Annex 3

Characteristic data of cross laminated timber

of European Technical Assessment
 ETA-14/0349 of 06.04.2020

electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy



BWR	Essential characteristic	Assessment method	Level / Class / Description						
	Shear strength – parallel to the grain of the boards $f_{v, 090, k}$ – perpendicular to the grain of the boards (rolling shear strength) $f_{v, 9090, k}$	EN 338 EAD 130005-00-0304, 2.2.1.3, A_{gross}	<table border="0"> <tr> <td>C16/T11</td> <td>3.2 MPa</td> </tr> <tr> <td>C24/T14</td> <td>4.0 MPa</td> </tr> <tr> <td>C30/T21</td> <td>4.0 MPa</td> </tr> </table> Spruce: $\min \{1.25; 1.45 - \frac{t_0}{100}\} \text{ MPa}^{4)}$ Pine: $\min \{1.70; 1.90 - \frac{t_0}{100}\} \text{ MPa}^{4)}$ Lamellae type "REX": $\min \{1.25; 1.45 - \frac{t_0}{100}\} \text{ MPa}^{4)}$	C16/T11	3.2 MPa	C24/T14	4.0 MPa	C30/T21	4.0 MPa
C16/T11	3.2 MPa								
C24/T14	4.0 MPa								
C30/T21	4.0 MPa								
NOTE ⁴⁾ t_0 is the thickness of the largest cross layer									
CLT – Cross Laminated Timber		Annex 3							
Characteristic data of cross laminated timber		of European Technical Assessment ETA-14/0349 of 06.04.2020							



electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy

BWR	Essential characteristic	Assessment method	Level / Class / Description
	2. Mechanical actions in plane of cross laminated timber ¹⁾		
	Strength class of boards	EN 338	See Table 2
	Modulus of elasticity – parallel to the grain of the boards $E_{0, mean}$	EAD 130005-00-0304, 2.2.1.1, A_{net} , I_{net}	C16/T11 8 000 MPa C24/T14 12 000 MPa ²⁾ C30/T21 12 000 MPa
	Shear modulus – parallel to the grain of the boards $G_{090, mean}$	EAD 130005-00-0304, 2.2.1.3, A_{net}	460 MPa
	Bending strength – parallel to the grain of the boards $f_{m, k}$	EAD 130005-00-0304, 2.2.1.1, W_{net}	C16/T11 16 MPa C24/T14 24 MPa C30/T21 30 MPa
	Tensile strength – parallel to the grain of the boards $f_{t, 0, k}$	EN 338	C16/T11 8.5 MPa C24/T14 14.5 MPa C30/T21 19.0 MPa
	Compressive strength – parallel to the grain of the boards $f_{c, 0, k}$	EN 338	C16/T11 17 MPa C24/T14 21 MPa C30/T21 24 MPa
	Shear strength – parallel to the grain of the boards $f_{v, 090, k}$	EAD 130005-00-0304, 2.2.1.3, A_{net} ³⁾	3.9 MPa ⁵⁾

NOTE $A_{net} = \max \{ A_{net,z} \}$ ⁵⁾ $A_{net,x}$

CLT – Cross Laminated Timber	Annex 3
Characteristic data of cross laminated timber	of European Technical Assessment ETA-14/0349 of 06.04.2020



BWR	Essential characteristic	Assessment method	Level / Class / Description	
	3. Other mechanical actions			
	Creep and duration of load	EN 1995-1-1		
	Dimensional stability Moisture content during service shall not change to such an extend that adverse deformation will occur.			
	Fasteners	EN 1995-1-1, the direction of grain of the cover layer shall be taken as reference		
	In-service environment			
	Durability of timber Service classes	EN 1995-1-1	1 and 2	
	Bond integrity	EAD 130005-00-0304	Pass	
2	Safety in case of fire			
	<u>Reaction to fire</u>			
	Glued laminated timber products	Commission Decision 2005/610/EC	Mean density of wood $\geq 380 \text{ kg/m}^3$ Euroclass D-s2, d0	
	<u>Resistance to fire</u>			
	Structures with specified fire resistance	EN 13501-2	Annex 4	
	Charring rate - Charring of the cover layer - Charring of more layers than the cover layer	EAD 130005-00-0304	Floor/Roof 0.65 mm/min 1.3 mm/min ⁶⁾	Wall 0.63 mm/min 0.86 mm/min
3	Hygiene, health and environment			
	Vapour permeability, μ , for wood	EN ISO 10456	50 (dry) to 20 (wet)	
4	Safety and accessibility in use			
	Impact resistance	Soft body resistance is assumed to be fulfilled for walls with a minimum of 3 layers and minimum thickness of 60 mm.		

NOTE ⁶⁾ until 25 mm of charring. Afterwards the charring rate 0.65 mm/min applies up to the next glue line

CLT – Cross Laminated Timber	Annex 3
Characteristic data of cross laminated timber	of European Technical Assessment ETA-14/0349 of 06.04.2020

BWR	Essential characteristic	Assessment method	Level / Class / Description
5	Protection against noise		
	Airborne sound insulation	EN ISO 10140-2, EN ISO 717-1	For R_w (C; C_{tr}), see Annex 5
	Impact sound insulation	EN ISO 10140-3, EN ISO 717-2	For $L_{n,w}$ (C_i) see Annex 5
	Sound absorption	EN ISO 354, EN ISO 11654	For α_s see Annex 5
6	Energy economy and heat retention		
	Thermal conductivity, λ , of wood	EN ISO 10456	0.12 W/(m·K)
	Air permeability	EN 12114	Class 4 according to EN 12207
	Thermal inertia, specific heat capacity, c_p , of wood	EN ISO 10456	1 600 J/(kg·K)
CLT – Cross Laminated Timber		Annex 3	
Characteristic data of cross laminated timber		of European Technical Assessment ETA-14/0349 of 06.04.2020	

Examples with specified fire resistance

Wall structures

Cladding on the fire exposed side	Mounting	CLT element	Test load	Tested wall height	Classification
		Designation and structure [mm]	[kN/m]	[m]	i => o
-	-	CLT 100 C3s 30-40-30	35	3	REI 60
-	-	CLT 100 C5s 20-20-20-20-20	35	3	REI 60
12.5 mm gypsum plasterboard type DF according to EN 520, $\rho \geq 800 \text{ kg/m}^3$	Drywall screws 3.9 mm x 35 mm with a = 75/150 mm (edge/centre) row distance 625 mm	CLT 80 C3s 30-20-30	35	3	REI 60
50 mm wood wool board Heraklith BM type L1/L2-W1-T1-S1/S2-P1-CS(10/Y)150-CI3 according to EN 13168, $\rho = 18.5 \text{ kg/m}^3$ 15 mm plaster	Heraklith screws 5 mm x 80 mm with a = 150 mm row distance 625 mm	CLT 80 C3s 30-20-30	35	3	REI 60
10 mm fermacell Firepanel A1 with fibrous reinforcement type GF-I-W2-C1 according to EN 15283-2, $\rho = 1\,200 \pm 50 \text{ kg/m}^3$	Staples with a = 150 mm, row distance 390 mm	CLT 80 C3s 30-20-30	45	3	REI 60
12.5 mm fermacell Gypsum Fibreboard with fibrous reinforcement type GF-I-W2-C1 according to ETA-03/0050, $\rho = 1\,150 \pm 50 \text{ kg/m}^3$	Staples with a = 150 mm, row distance 400 mm	CLT 120 C3s 40-40-40	200	3	REI 60
Hat- spring bar Protektor 60-27 according to EN 14195 40 mm glass wool Ursa Trennwandfilz TWF 1 according to EN 13162	Wood screws with flat head 4.2 mm x 35 mm with a = 600 mm	CLT 120 C3s 40-40-40	200	3	REI 60
12.5 mm fermacell Gypsum Fibreboard with fibrous reinforcement type GF-I-W2-C1 according to ETA-03/0050, $\rho = 1\,150 \pm 50 \text{ kg/m}^3$	Drywall screws 3.9 mm x 30 mm with a = 250 mm				
2 x 18 mm gypsum plasterboard type DF according to EN 520, $\rho \geq 800 \text{ kg/m}^3$	First layer: staples with a = 200 mm, row distance 625 mm Second layer: staples with a = 80 mm, row distance 625 mm	CLT 80 C3s 20-40-20	120	3.28	REI-M 60

CLT – Cross Laminated Timber

Annex 4

Resistance to fire

of European Technical Assessment
ETA-14/0349 of 06.04.2020



Cladding on the fire exposed side	Mounting	CLT element	Test load	Tested wall height	Classification
		Designation and structure [mm]	[kN/m]	[m]	i => o
2 x 15 mm gypsum plasterboard type DF according to EN 520, $\rho \geq 800 \text{ kg/m}^3$	First layer: ribbed nails l = 40 mm Second layer: ribbed nails l = 40 mm (left side) and staples l = 45 mm (right side) with a = 75/150 mm (edge/centre) row distance 625 mm	CLT 80 C3s 30-20-30	–	3	EI 90
12.5 mm gypsum plasterboard type DF according to EN 520, $\rho \geq 800 \text{ kg/m}^3$	Drywall screws 3.9 mm x 35 mm with a = 75/150 mm (edge/centre) row distance 625 mm	CLT 100 C3s 30-40-30	35	3	REI 90
12.5 mm gypsum plasterboard type DF according to EN 520, $\rho \geq 800 \text{ kg/m}^3$ 40 mm mineral wool according to EN 13162, $\rho = 11 \text{ kg/m}^3$	Drywall screws 3.9 mm x 35 mm with a = 75/150 mm (edge/centre) row distance 625 mm	CLT 100 C3s 30-40-30	35	3	REI 90
50 mm wood wool board Heraklith BM type L1/L2-W1-T1-S1/S2-P1-CS(10/Y)150-CI3 according to EN 13168, $\rho = 18.5 \text{ kg/m}^3$ 15 mm plaster	Heraklith screws 5 mm x 80 mm with a = 150 mm row distance 625 mm	CLT 100 C3s 30-40-30 CLT 100 C5s 20-20-20-20-20	35	3	REI 90
Hat- spring bar Protektor 60-27 according to EN 14195 40 mm glass wool Ursa Trennwandfilz TWF 1 according to EN 13162 12.5 mm fermacell Gypsum Fibreboard with fibrous reinforcement type GF-I-W2-C1 according to ETA-03/0050, $\rho = 1150 \pm 50 \text{ kg/m}^3$	Wood screws with flat head 4.2 mm x 35 mm with a = 600 mm Drywall screws 3.9 mm x 30 mm with a = 250 mm	CLT 120 C3s 40-40-40	120	3	REI 90
12.5 mm fermacell Gypsum Fibreboard with fibrous reinforcement type GF-I-W2-C1 according to ETA-03/0050, $\rho = 1150 \pm 50 \text{ kg/m}^3$	Staples with a = 150 mm, row distance 400 mm	CLT 120 C3s 40-40-40	120	3	REI 90
2 x 15 mm fermacell Gypsum Fibreboard with fibrous reinforcement type GF-I-W2-C1 according to ETA-03/0050, $\rho = 1150 \pm 50 \text{ kg/m}^3$	First layer: staples with a = 200 mm, row distance 625 mm Second layer: staples with a = 150 mm, row distance 400 mm	CLT 120 C3s 40-40-40	200	3	REI 90

CLT – Cross Laminated Timber	Annex 4 of European Technical Assessment ETA-14/0349 of 06.04.2020
Resistance to fire	



Cladding on the fire exposed side	Mounting	CLT element	Test load	Tested wall height	Classification
		Designation and structure [mm]	[kN/m]	[m]	i => o
2 x 18 mm gypsum plasterboard type DF according to EN 520, $\rho \geq 800 \text{ kg/m}^3$	First layer: staples with $a = 200 \text{ mm}$, row distance 625 mm Second layer: staples with $a = 80 \text{ mm}$, row distance 625 mm	CLT 80 C3s 20-40-20	100	3.28	REI-M 90
15 mm and 18 mm fermacell Gypsum Fibreboard with fibrous reinforcement type GF-I-W2-C1 according to ETA-03/0050, $\rho = 1\,150 \pm 50 \text{ kg/m}^3$	First layer: staples with $a \leq 200 \text{ mm}$, row distance 625 mm Second layer: staples with $a \leq 150 \text{ mm}$, row distance 400 mm	CLT 80 C3s 20-40-20	120	3	REI-M 90

Cladding on the fire exposed side	Mounting	CLT element	Test load	Tested wall height	Classification
		Designation and structure [mm]	[kN/m]	[m]	i => o
12.5 mm gypsum plasterboard type DF according to EN 520, $\rho \geq 800 \text{ kg/m}^3$ 40 mm mineral wool according to EN 13162, $\rho = 11 \text{ kg/m}^3$	Drywall screws 3.9 mm x 35 mm with $a = 75/150 \text{ mm}$ (edge/centre) row distance 625 mm	CLT 100 C3s 30-40-30	35	3	REI 120
12.5 mm fermacell Firepanel A1 with fibrous reinforcement type GF-I-W2-C1 according to EN 15283-2, $\rho = 1\,200 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ 40 mm Rockwool panel 211, $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$ 10 mm fermacell Firepanel A1 with fibrous reinforcement type GF-I-W2-C1 according to EN 15283-2, $\rho = 1\,200 \pm 50 \text{ kg/m}^3$	Staples with $a = 150 \text{ mm}$, row distance 390 mm	CLT 80 C3s 30-20-30	45	3	REI 120
18 mm fermacell Gypsum Fibreboard with fibrous reinforcement type GF-I-W2-C1 according to ETA-03/0050, $\rho = 1\,150 \pm 50 \text{ kg/m}^3$	Staples with $a = 200 \text{ mm}$, row distance 400 mm	CLT 120 C3s 40-40-40	120	3	REI 120
2 x 15 mm fermacell Gypsum Fibreboard with fibrous reinforcement type GF-I-W2-C1 according to ETA-03/0050, $\rho = 1\,150 \pm 50 \text{ kg/m}^3$	First layer: staples with $a = 200 \text{ mm}$, row distance 625 mm Second layer: staples with $a = 150 \text{ mm}$, row distance 400 mm	CLT 120 C3s 40-40-40	150	3	REI 120

CLT – Cross Laminated Timber

Annex 4

Resistance to fire

of European Technical Assessment
ETA-14/0349 of 06.04.2020

Floor structures

Cladding on the fire exposed side	Mounting	CLT element	Test load	Tested span	Classification
		Designation and structure [mm]	[kN/m ²]	[m]	b => a
–	–	CLT 140 C5s 40-20-20-20-40	5	5	REI 60
12.5 mm gypsum plasterboard type DF according to EN 520, $\rho \geq 800 \text{ kg/m}^3$	Drywall screws 3.9 mm x 35 mm with a = 75/150 mm (edge/centre) row distance 625 mm	CLT 100 C3s 30-40-30	0.6	5	REI 60

Cladding on the fire exposed side	Mounting	CLT element	Test load	Tested span	Classification
		Designation and structure [mm]	[kN/m ²]	[m]	b => a
–	–	CLT 160 C5s 40-20-40-20-40	6	5	REI 90
12.5 mm gypsum plasterboard type DF according to EN 520, $\rho \geq 800 \text{ kg/m}^3$	Drywall screws 3.9 mm x 35 mm with a = 75/150 mm (edge/centre) row distance 625 mm	CLT 140 C5s 40-20-20-20-40	–	5	EI 90
35 mm wood wool board Heraklith EPV type L2-W1-T2-S2-P2-CS(10/Y)200-CI3 according to EN 13168	Heraklith screws 4.5 mm x 60 mm with a = 215 mm row distance 625 mm	CLT 140 C5s 40-20-20-20-40	–	5	EI 90


CLT – Cross Laminated Timber

Annex 4

Resistance to fire

 of European Technical Assessment
 ETA-14/0349 of 06.04.2020

Examples for airborne and impact sound insulation

No	Floor elements			
	F 1	140 mm	CLT 140 NVI L5S, 428 kg/m ³	L_{n,w}(C_i) = 88 (-5) dB
	F 2	70 mm 0.2 mm 30 mm 50 mm 50 mm 0.2 mm 18 mm 140 mm	Cement screed, 2210 kg/m ³ Vapour barrier sheet Impact sound insulation board, 72 kg/m ³ , s' = 10 MN/m ³ Ballast weight, 1650 kg/m ³ Paving slab, 2320 kg/m ³ Trickle course Soft fibre board, 250 kg/m ³ CLT 140 NVI L5S, 428 kg/m ³	L_{n,w}(C_i) = 41 (1) dB
	F 3	70 mm 0.2 mm 30 mm 50 mm 50 mm 0.2 mm 18 mm 140 mm 3 mm 70 mm 15 mm	Cement screed, 2210 kg/m ³ Vapour barrier sheet Impact sound insulation board, 72 kg/m ³ , s' = 10 MN/m ³ Ballast weight, 1650 kg/m ³ Paving slab, 2320 kg/m ³ Trickle protection Soft fibre board, 250 kg/m ³ CLT 140 NVI L5S, 428 kg/m ³ Connection sealing tape Acoustical mounting including 50 mm thermal insulation, 16 kg/m ³ Gypsum plasterboard, 800 kg/m ³	L_{n,w}(C_i) = 36 (3) dB
	F 4	70 mm 0.2 mm 30 mm 50 mm 140 mm 3 mm 70 mm 15 mm	Cement screed, 2210 kg/m ³ Vapour barrier sheet Impact sound insulation board, 72 kg/m ³ , s' = 10 MN/m ³ Ballast weight, 1650 kg/m ³ CLT 140 NVI L5S, 428 kg/m ³ Connection sealing tape Acoustical mounting including 50 mm thermal insulation, 16 kg/m ³ Gypsum plasterboard, 800 kg/m ³	L_{n,w}(C_i) = 46 (1) dB
	F 5	70 mm 0.2 mm 30 mm 50 mm 140 mm	Cement screed, 2210 kg/m ³ Vapour barrier sheet Impact sound insulation board, 72 kg/m ³ , s' = 10 MN/m ³ Ballast weight, 1650 kg/m ³ CLT 140 NVI L5S, 428 kg/m ³	L_{n,w}(C_i) = 50 (-1) dB
	F 6	70 mm 0.2 mm 30 mm 50 mm 20 mm 140 mm	Cement screed, 2210 kg/m ³ Vapour barrier sheet Impact sound insulation board, 72 kg/m ³ , s' = 10 MN/m ³ Ballast weight, 1650 kg/m ³ Impact sound insulation board, 69 kg/m ³ , s' = 14 MN/m ³ CLT 140 NVI L5S, 428 kg/m ³	L_{n,w}(C_i) = 49 (1) dB

Protection against noise

electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy



	F 7 70 mm 0.2 mm 30 mm 100 mm 140 mm	Cement screed, 2210 kg/m ³ Vapour barrier sheet Impact sound insulation board, 72 kg/m ³ , s' = 10 MN/m ³ Latex bonded ballast weight, 1650 kg/m ³ CLT 140 NVI L5S, 428 kg/m ³	L_{n,w}(C_i) = 43 (-3) dB
	F 8 60 mm 0.05 mm 30 mm 60 mm 0.1 mm 150 mm 70 mm 12.5 mm	Cement screed, 2200 kg/m ³ PE-foil (separating layer) Impact sound insulation board, 120 kg/m ³ , s' ≤ 35 MN/m ³ Ballast weight, 1700 kg/m ³ PE-foil (trickle protection) CLT 5s Acoustical mounting including 60 mm thermal insulation, 22 kg/m ³ Gypsum plasterboard, 720 kg/m ³	L_{n,w}(C_i) = 53 (3) dB
	F 9 60 mm 0.05 mm 30 mm 60 mm 0.1 mm 150 mm 70 mm 12.5 mm	Cement screed, 2200 kg/m ³ PE-foil (separating layer) Impact sound insulation board, 80 kg/m ³ , s' = 10 MN/m ³ Ballast weight, 1700 kg/m ³ PE-foil (trickle protection) CLT 5s Acoustical mounting including 60 mm thermal insulation, 22 kg/m ³ Gypsum plasterboard, 720 kg/m ³	L_{n,w}(C_i) = 46 (2) dB
	F 10 60 mm 0.05 mm 30 mm 60 mm 0.1 mm 150 mm	Cement screed, 2200 kg/m ³ PE-foil (separating layer) Impact sound insulation board, 120 kg/m ³ , s' ≤ 35 MN/m ³ Ballast weight, 1700 kg/m ³ PE-foil (trickle protection) CLT 5s	L_{n,w}(C_i) = 57 (-1) dB
	F 11 60 mm 0.05 mm 30 mm 60 mm 0.1 mm 150 mm	Cement screed, 2200 kg/m ³ PE-foil (separating layer) Impact sound insulation board, 120 kg/m ³ , s' ≤ 35 MN/m ³ Bonded ballast weight, 1840 kg/m ³ PE-foil (trickle protection) CLT 5s	L_{n,w}(C_i) = 65 (-2) dB
	F 12 20 + 80 mm 10 mm 2 mm 0.1 mm 30 mm 2 x 100 mm 0.1 mm 15 mm 50 mm 150 mm 70 mm 12.5 mm	Floor covering on timber beams 50/80 Protection mat Roofing membrane PE-foil Impact sound insulation board, 133 kg/m ³ , s' = 10 MN/m ³ EPS F, 15 kg/m ³ PE-foil (vapour barrier) OSB, 580 kg/m ³ Timber beams 50/80 CLT 5s Acoustical mounting including 60 mm thermal insulation, 22 kg/m ³ Gypsum plasterboard, 720 kg/m ³	L_{n,w}(C_i) = 52 (3) dB

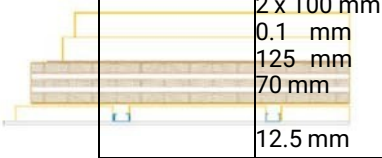
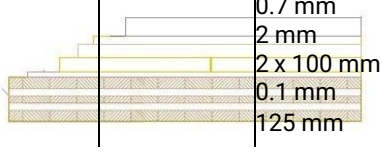


CLT – Cross Laminated Timber

Annex 5

Protection against noise

of European Technical Assessment
ETA-14/0349 of 06.04.2020

electronic copy electronic copy electronic copy electronic copy

Roof elements				
	R 1	2 mm 2 x 100 mm 0.1 mm 125 mm 70 mm 12.5 mm	$R_w(C; C_{tr}) = 48 (-3; -9) \text{ dB}$	
		R 2	70 mm 0.7 mm 2 mm 2 x 100 mm 0.1 mm 125 mm	$R_w(C; C_{tr}) = 44 (0; -3) \text{ dB}$
Wall elements				
	W 1	120 mm	CLT 120 NVI C5S, 445 kg/m ³	$R_w(C; C_{tr}) = 36 (-1; -4) \text{ dB}$
		W 2	100 mm	CLT 100 NVI C3S, 371 kg/m ³

CLT – Cross Laminated Timber	Annex 5
Protection against noise	ETA-14/0349 of 06.04.2020



	<p>W 3</p> <p>100 mm 3 mm 50 mm 12.5 mm</p>	<p>CLT 100 NVI C3S, 371 kg/m³ Connection sealing tape Acoustical mounting, 388 kg/m³ including 50 mm thermal insulation, 16 kg/m³ Gypsum plasterboard, 816 kg/m³</p>	<p>R_w(C; C_{tr}) = 51 (-2; -8) dB</p>
	<p>W 4</p> <p>100 mm 50 mm 12.5 mm</p>	<p>CLT 100 NVI C3S, 371 kg/m³ Wooden battens, 388 kg/m³ including 50 mm thermal insulation, 16 kg/m³ Gypsum plasterboard, 816 kg/m³</p>	<p>R_w(C; C_{tr}) = 45 (-1; -5) dB</p>
	<p>W 5</p> <p>12.5 mm 50 mm 100 mm 50 mm 12.5 mm</p>	<p>Gypsum plasterboard, 816 kg/m³ Wooden battens, 388 kg/m³ including 50 mm thermal insulation, 16 kg/m³ CLT 100 NVI C3S, 371 kg/m³ Wooden battens, 388 kg/m³ including 50 mm thermal insulation, 16 kg/m³ Gypsum plasterboard, 816 kg/m³</p>	<p>R_w(C; C_{tr}) = 50 (-3; -10) dB</p>

<p>CLT – Cross Laminated Timber</p>	<p>Annex 5</p>
<p>Protection against noise</p>	<p>of European Technical Assessment ETA-14/0349 of 06.04.2020</p>



	<p>W 6</p> <p>12.5 mm 100 mm 50 mm 12.5 mm</p>	<p>Gypsum plasterboard, 816 kg/m³ CLT 100 NVI C3S, 371 kg/m³ Wooden battens, 388 kg/m³ including 50 mm thermal insulation, 16 kg/m³ Gypsum plasterboard, 816 kg/m³</p>	<p>R_w(C; C_{tr}) = 46 (-2; -6) dB</p>
	<p>W 7</p> <p>12.5 mm 100 mm 12.5 mm</p>	<p>Gypsum plasterboard, 816 kg/m³ CLT 100 NVI C3S, 371 kg/m³ Gypsum plasterboard, 816 kg/m³</p>	<p>R_w(C; C_{tr}) = 37 (-1; -3) dB</p>
	<p>W 8</p> <p>100 mm 12.5 mm</p>	<p>CLT 100 NVI C3S, 371 kg/m³ Gypsum plasterboard, 816 kg/m³</p>	<p>R_w(C; C_{tr}) = 37 (-1; -3) dB</p>
<p>CLT – Cross Laminated Timber</p>		<p>Annex 5</p>	
<p>Protection against noise</p>		<p>of European Technical Assessment ETA-14/0349 of 06.04.2020</p>	



	<p>W 9</p> <p>100 mm 27 mm 12.5 mm</p>	<p>CLT 100 NVI C3S, 371 kg/m³ Acoustical mounting including 50 mm thermal insulation, 16 kg/m³ Gypsum plasterboard, 816 kg/m³</p>	<p>R_w(C; C_{tr}) = 48 (-5; -12) dB</p>
	<p>W 10</p> <p>120 mm 35 mm 10 mm</p>	<p>CLT 120 NVI C5S, 445 kg/m³ Clay building board, 1043 kg/m³ Clay rendering including glass fibre reinforcement</p>	<p>R_w(C; C_{tr}) = 47 (-1; -5) dB</p>
	<p>W 11</p> <p>5 mm 200 mm 120 mm 35 mm 10 mm</p>	<p>Exterior basecoat including reinforcing mesh Stone wool rendering panel, 121 kg/m³ CLT 120 NVI C5S, 445 kg/m³ Clay building board, 1043 kg/m³ Clay rendering including glass fibre reinforcement</p>	<p>R_w(C; C_{tr}) = 48 (-3; -8) dB</p>

<p>CLT – Cross Laminated Timber</p>	<p>Annex 5</p>
<p>Protection against noise</p>	<p>of European Technical Assessment ETA-14/0349 of 06.04.2020</p>



	W 12 20 mm 27 mm 0.4 mm 100 mm 100 mm 120 mm 35 mm 10 mm	Rabbet edge shuttering of larch, 536 kg/m ³ Spread shuttering, 640 kg/m ³ Shuttering layer Wooden battens, 542 kg/m ³ including 100 mm façade insulation board, 25 kg/m ³ , cross layer Wooden battens, 542 kg/m ³ including 100 mm façade insulation board, 25 kg/m ³ CLT 120 NVI C5S, 445 kg/m ³ Clay building board, 1043 kg/m ³ Clay rendering including glass fibre reinforcement	R_w(C; C_{tr}) = 54 (-2; -7) dB
	W 13 20 mm 30 mm 0.3 mm 15 mm 200 mm 100 mm 94 mm 60 mm 12.5 mm	Shuttering, laterally closed*/open all around** Timber beams 30/50 Foil (diffusion open) Gypsum fibre board, 1190 kg/m ³ Wooden battens 200/60, e = 62.5 cm including 200 mm thermal hemp-mats, 30 kg/m ³ CLT 3s or 5s Wooden battens 60/60, e = 62.5 cm including 50 mm mineral wool, 13 kg/m ³ Gypsum plasterboard, 810 kg/m ³	R_w(C; C_{tr}) = 46 (-2; -5) dB * R_w(C; C_{tr}) = 45 (-1; -4) dB **
	W 14 20 mm 30 mm 0.3 mm 15 mm 200 mm 100 mm 94 mm 70 mm 12.5 mm	Shuttering Timber beams 30/50 Foil (diffusion open) Gypsum fibre board, 1190 kg/m ³ Wooden battens 200/60, e = 62.5 cm including 200 mm thermal hemp-mats*, 30 kg/m ³ or wood fibre insulation board**, 58kg/m ³ CLT 3s or 5s Acoustical mounting including 50 mm mineral wool, 13 kg/m ³ Gypsum plasterboard, 810 kg/m ³	R_w(C; C_{tr}) = 51 (-2; -7) dB * R_w(C; C_{tr}) = 53 (-2; -8) dB **
CLT – Cross Laminated Timber		Annex 5	
Protection against noise		of European Technical Assessment ETA-14/0349 of 06.04.2020	

	W 15 100 mm 140 mm 8 mm	CLT 100 3s Mineral wool, 120 kg/m ³ Plaster including reinforcement, 3 kg/m ²	R_w(C; C_{tr}) = 44 (-2; -8) dB
	W 16 100 mm 160 mm 11 mm	CLT 100 3s Hemp fibre insulation, 100 kg/m ³ Plaster including reinforcement, 4 kg/m ²	R_w(C; C_{tr}) = 51 (-3; -10) dB

Sound absorption

f in Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000
α_s	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05

CLT – Cross Laminated Timber	Annex 5
Protection against noise	of European Technical Assessment ETA-14/0349 of 06.04.2020

EAD 130005-00-0304, European Assessment Document for “Solid wood slab element to be used as a structural element in buildings”

ETA-03/0050, European Technical Assessment ETA-03/0050 of 25 May 2018 for „fermacell Gypsum fibre boards – fermacell Gipsfaserplatte, fermacell Vapor, fermacell Gipsfaser-Platte greenline“ from Fermacell GmbH, Düsseldorfer Landstraße 395, 47259 Duisburg, Germany

EN 301 (11.2017), Adhesives, phenolic and aminoplastic, for load-bearing timber structures – Classification and performance requirements

EN 338 (04.2016), Structural timber – Strength classes

EN 520:2004+A1 (08.2009), Gypsum plasterboards – Definitions, requirements and testmethods

EN 1995-1-1 (11.2004), +AC (06.2006), +A1 (06.2008), +A2 (05.2014), Eurocode 5 – Design of timber structures - Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings

EN 1995-1-2 (11.2004) +AC (06.2006), +AC (03.2009), Eurocode 5 – Design of timber structures – Part 1-2: General – Structural fire design

EN 12114 (03.2000), Thermal performance of buildings – Air permeability of building components and building elements – Laboratory test method

EN 13162:2012+A1 (02.2015), Thermal insulation products for buildings – Factory made mineral wool (MW) products – Specification

EN 13168:2012+A1 (02.2015), Thermal insulation products for buildings – Factory made wood wool (WW) products – Specification

EN 13183-2 (04.2002), Moisture content of a piece of sawn timber – Part 2: Estimation by electrical resistance method

EN 13501-2 (06.2016), Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services

EN 13986:2004+A1 (04.2015), Wood-based panels for use in construction – Characteristics, evaluation of conformity and marking

EN 14080 (06.2013), Timber structures – Glued laminated timber and glued solid timber – Requirements

EN 14195 (12.2014), Metal framing components for gypsum board systems – Definitions, requirements and test methods

EN 15283-2:2008+A1 (08.2009), Gypsum boards with fibrous reinforcement – Definitions, requirements and test methods – Part 2: Gypsum fibre boards

CLT – Cross Laminated Timber	Annex 6
Reference documents	of European Technical Assessment ETA-14/0349 of 06.04.2020

EN 15425 (01.2017), Adhesives – One component polyurethane for load bearing timber structures – Classification and performance requirements

EN ISO 354 (05.2003), Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room

EN ISO 717-1 (03.2013), Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation

EN ISO 717-2 (03.2013), Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation

EN ISO 10140-2 (09.2010), Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 2: Measurement of airborne sound insulation

EN ISO 10140-3 (09.2010), +A1 (06.2015), Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building Elements – Part 3: Measurement of impact sound insulation

EN ISO 10456 (12.2007), +AC (12.2009), Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values

EN ISO 11654 (04.1997), Acoustics – Sound absorbers for use in buildings – Rating of sound absorption

CLT – Cross Laminated Timber

Annex 6

Reference documents

of European Technical Assessment
ETA-14/0349 of 06.04.2020



European Technical Assessment

ETA-18/0288
of 23/04/2018

Trade Name of the Construction Product	Perlinato Strutturale
Product Family to which the Construction Product Belongs	EC PAC 13
Manufacturer	Consorzio Servizi Legno-Sughero Foro Buonaparte 12 20121 Milano Italy
Manufacturing Plant(s)	See Annex 1
This European Technical Assessment Contains	18 pages including 5 Annexes which form an integral part of this assessment
This European Technical Assessment is Issued in Accordance with Regulation (EU) No 305/2011, on the Basis of:	EAD 130196-00-03.04 "Solid Wood Boards for Flatwise Structural Use with Overlapping Edge Profiles"

Translations of this European Technical Assessment in other languages shall fully correspond to the original issued document and should be identified as such.

Communication of this European Technical Assessment, including transmission by electronic means, shall be in full (except for any confidential Annex(es)). However, partial reproduction may be made, with the written consent of the issuing Technical Assessment Body. Any partial reproduction has to be identified as such.

Technical Description of the Product

General

This European Technical Assessment – ETA – applies to solid wood boards for flatwise structural use with overlapping edge profiles:

“Perlinato strutturale”

Solid wood boards for flatwise structural use with overlapping edge profiles (hereinafter “the profiled boards” or “the product”) are:

- Visually graded flatwise based on a modified cross-section in accordance with DIN 4074-1 to S7, S10 or S13 or DIN 4074-5 to LS10 and better
- Assigned to a strength class based on the flatwise grade, the species and the source
- From the combinations of species and sources given in Clause 1.2 below
- Not treated with a fire retardant
- Not preservative treated
- Made exclusively of virgin wood; no recycled wood is used

The profiled boards are equipped with complementary tongue and groove or rebate profiles parallel to the grain direction along the opposing narrow edges. Examples of profiled cross section geometries are shown in Annex 1 (Figure 1 and Figure 2).

The minimum dimensions of the nominal cross section of the profiled boards are:

Thickness	18 mm
Width	80 mm

NOTE: The cross section of the profiled boards is rectangular, if the overlapping edge profiles are neglected (Annex 1, Figure 1 and Figure 2).

Wood Species and Source

Wood Species (softwood):

- Spruce (*Picea abies* (L.) Karst), Fir (*Abies alba* Mill.), Larch (*Larix decidua* Mill.), Pine (*Pinus sylvestris* L.).

Source is Central, Northern and Eastern (CNE) Europe

- Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii* Mill.).
Source is Germany and Austria

Wood Species (hardwood):

- Oak (*Quercus petraea* Liebl. and *Quercus robur* L.).
Source is Germany

Specification of the Intended Use in Accordance with the Applicable European Assessment Document (hereinafter EAD)

Intended Use

The profiled boards are intended for use in buildings as a structural component of walls, floors and roofs in Service Classes 1 and 2 according to EN 1995-1-1. The profiles have no structural function, but prevent gaps opening between boards.

Within a roof construction, the product will not contribute to the water tightness, but will receive a suitable waterproofing and roof covering. Waterproofing and roof covering are not within the scope of the EAD and ETA.

Assumptions

General

Concerning product packaging, transport, storage, maintenance, replacement, and repair it is the responsibility of the manufacturer to undertake the appropriate measures and to advise his clients on transport, storage, maintenance, replacement, and repair of the product as he considers necessary.

Design

The European Technical Assessment only applies to the manufacture and use of the profiled boards. Verification of stability of the works including application of loads on the products is not subject to this European Technical Assessment.

The following conditions shall be observed:

- Design of the product is carried out under the responsibility of an engineer experienced in such products;
- Verification is carried out by applying the rectangular cross section (the profiles have no structural function, but only prevent gaps opening between boards – see Figure 1 and Figure 2);
- Design of the works shall account for the protection of the profiled boards;
- The product is installed correctly;

Design of the product is according to EN 1995-1-1, EN 1995-1-2 and EN 1998-3 (for seismic actions), taking into account of Annex 3 of the European Technical Assessment. Standards and regulations in force at the place of use shall be considered.

Manufacturing

The profiled boards are manufactured according to the provisions of this European Technical Assessment. The product is produced by machining suitable boards, which are graded in accordance with EN 14081-1 (either dry-graded or not) on the assumption of a reduced cross-section. If required, moisture content is determined in accordance with EN 13183-2.

Packaging, Transport and Storage

The manufacturer's instruction for packaging, transport and storage shall be observed. The following aspects shall be considered:

- protection against unfavourable environmental effects;
- protection against external damage, that may affect the proper assembling of the profiled boards;
- intermediate storage at the construction site

Installation

General

The manufacturer shall provide installation instructions containing provisions to be followed to achieve the expected performance. It is assumed that the profiled boards will be installed according to the manufacturer's instructions.

Use, Maintenance and Repair of the Works

The profiled boards should not require maintenance or repair during the assumed working life if subject to normal use. Severe damage of the profiled boards may require immediate remedial action to restore the mechanical resistance and stability of the works.

If repair is deemed necessary it is generally made by replacement.

Assumed Working Life

This European Technical Assessment assumes a working life of 50 years for the profiled boards, when installed in the works, provided that the profiled boards are subject to appropriate installation, use, and maintenance (see Clause 2.2). These provisions are based upon the current state of the art and the available knowledge and experience.

In normal use conditions the real working life may be considerably longer without major degradation affecting the basic requirements for works¹.

The indications given as to the working life of the construction product cannot be interpreted as a guarantee, neither given by the product manufacturer or his representative nor by EOTA nor by the Technical Assessment Body, but are regarded only as a means for expressing the expected economically reasonable working life of the product.

Performance of the Product and References to the Methods used for its Assessment

Essential Characteristics

The performance characteristics of the profiled boards are given in Table 1.

¹ The real working life of a product incorporated in a specific works depends on the environmental conditions to which that works are subject, as well as on the particular conditions of design, execution, use and maintenance of that works. Therefore, it cannot be excluded that in certain cases the real working life of the product may also be shorter than the working life indicated above.

Table 1: Essential Characteristics and Performance of the Product

No.	Essential Characteristic	Product Performance
Basic Works Requirement 1: Mechanical Resistance and Stability¹		
1	Bending Strength	See Annex 4
2	Tension Strength Parallel	See Annex 4
3	Tension Strength Perpendicular	See Annex 4
4	Compression Strength Parallel	See Annex 4
5	Compression Strength Perpendicular	See Annex 4
6	Shear Strength	See Annex 4
7	Modulus of Elasticity Parallel	See Annex 4
8	Modulus of Elasticity Perpendicular	See Annex 4
9	Shear Modulus	See Annex 4
10	Density	See Annex 4
11	Dimensional Stability	See Annex 4
12	Durability of Timber	See Annex 4
Basic Works Requirement 2: Safety in Case of Fire		
13	Reaction to Fire	See Annex 4
14	Resistance to Fire	See Annex 4
Basic Works Requirement 4: Safety and Accessibility in Use		
15	Same as Basic Works Requirement 1	—

Assessment Methods

The assessment of the essential characteristics in Clause 3.1 of the profiled boards for the intended uses and in relation to the requirements for mechanical resistance and stability, for safety in case of fire, and for hygiene health, and the environment in the sense of the Basic Works Requirements № 1 to 3 of Regulation (EU) № 305/2011 has been made in accordance with the European Assessment Document EAD 130196-00-0304 for solid wood boards for structural use with overlapping edge profiles.

Identification

This European Technical Assessment for the profiled boards is issued on the basis of agreed data that identify the assessed product². Changes to materials, to composition, to characteristics, or to the production process of the profiled boards could result in these deposited data being incorrect. Exova BM TRADA should be notified before the changes are introduced, as an amendment of the European Technical Assessment may be necessary.

Assessment and Verification of Constancy of Performance (hereinafter AVCP) System applied, with reference to its Legal Base

System of Assessment and Verification of Constancy of Performance

According to Commission Decision 97/176/EC the system of assessment and verification of constancy of performance to be applied to solid wood boards for flatwise structural use with overlapping edge profiles is System 2+. System 2+ is detailed in Commission Delegated Regulation (EU) No 568/2014 of 18 February 2014 Annex 1.3, and provides for the following items.

- (a) The manufacturer shall carry out:
 - (i) An assessment of the performance of the construction product on the basis of testing (including sampling), calculation, tabulated values or descriptive documentation of that product;
 - (ii) Factory production control;
 - (iii) Testing of samples taken at the manufacturing plant by the manufacturer in accordance with the prescribed test plan³.
- (b) The notified factory production control certification body shall decide on the issuing, restriction, suspension or withdrawal of the certificate of conformity of the factory production control on the basis of the outcome of the following assessments and verifications carried out by that body:
 - (i) Initial inspection of the manufacturing plant and of factory production control;
 - (ii) Continuing surveillance, assessment and evaluation of factory production control.

AVCP for Construction Products for which a European Technical Assessment has been Issued

Manufacturers undertaking tasks under System 2+ shall consider the European Technical Assessment issued for the construction product in question as the assessment of the performance of that product. Manufacturers shall therefore not undertake the tasks referred to in Clause 4.1(a)(i) above.

² The technical file of the European Technical Assessment is deposited at Exova - BM TRADA

³ The prescribed test plan has been deposited with Exova – BM TRADA and is handed over only to the notified factory production control certification body involved in the procedure for the assessment and verification of constancy of performance. The prescribed test plan is also referred to as the control plan.

Technical Details Necessary for the Implementation of the AVCP System, as provided for in the applicable EAD

Tasks for the Manufacturer

Factory Production Control

In the manufacturing plant the manufacturer establishes and continuously maintains a factory production control. All procedures and specifications adopted by the manufacturer are documented in a systematic manner. The purpose of the factory production control is to ensure the constancy of performances of the profiled boards with regard to their essential characteristics.

The manufacturer only uses raw materials supplied with the relevant inspection documents as laid down in the control plan. The incoming raw materials are subject to controls by the manufacturer before acceptance. Checks of incoming materials include control of inspection documents presented by the manufacturer of the raw materials and verification of the geometrical properties of the logs and /or boards.

To maintain the characteristic strength for the strength class, the manufacturer has procedures to ensure that the batch of timber that is graded has not been selected in a way that could truncate the expected upper range of strength properties.

The procedures of the manufacturer incorporate the specifications of EN 14081-1 for visually strength graded timber regarding factory production control including record-keeping.

The records shall be presented to the notified certification body involved in continuing surveillance of the factory production control. On request the records shall be presented to ExovaBM TRADA.

Declaration of Performance

The manufacturer is responsible for preparing the Declaration of Performance. When all the criteria of the assessment and verification of constancy of performance are met, including the certificate of conformity of the factory production control issued by the notified factory production control certification body, the manufacturer draws up the Declaration of Performance. Essential characteristics to be included in the declaration of performance for the corresponding intended use are given in Table 1.

Profiled boards that have been dry-graded are marked in accordance with EN 14081-1 within the product-type.

Tasks for the Notified Body

Initial Inspection of the Manufacturing Plant and of Factory Production Control

The notified certification body for factory production control verifies the ability of the manufacturer to maintain an orderly system of manufacturing of the profiled boards in accordance with this European Technical Assessment.

In particular the following items are appropriately considered:

- Personnel and equipment;

- Suitability of the factory production control established by the manufacturer;
- Full implementation of the prescribed test plan.

Continuing Surveillance, assessment and Evaluation of Factory Production Control

The Notified Body shall visit the factory at least once a year to conduct a surveillance audit. In particular the following items are appropriately considered:

- Manufacturing process including personnel and equipment
- Factory production control
- Implementation of the prescribed test plan

If the provisions of the European Technical Assessment and the prescribed test plan are no longer fulfilled such that the constancy of performance of the product cannot be verified, the certificate may be suspended or withdrawn by the Notified Body.

Issued By Exova BM TRADA on 23/04/18

The Original Document is signed by Niresh Somlie



Annex 1 Manufacturing Plants

No.	Factory Name	Address
1.	Balconi Giannino s.r.l.	Via Sempione, 48 21029 - Vergiate (Varese)
2.	Centro Legno di Peruzzi A. & C. s.n.c.	Via Guido Rossa, 6 59015 Carmignano (Prato)
3.	FAS s.r.l.	Via Pangoni, 31 37022 Fumane (Verona)
4.	F.B.E. di FONGARO ENRICO & C. s.n.c.	Via dell'industria, 1 36070 Castelgomberto (Vicenza)
5.	F.Ili Soliani di Giovanni e Felice s.n.c.	Via Francesco Petrarca, 30 42045 Luzzara (Reggio Emilia)
6.	G.g.g. di Sardi Giulio & C. s.n.c.	Via Buonarroti, 178 20900 Monza (Monza-Brianza)
7.	Lavarone Industria Legnami s.p.a.	Via A. Depretis, 102 80133 Napoli (Napoli)
8.	Imola legno s.p.a.	Via D. Luigi Sturzo, 10 40026 Imola (Bologna)
9.	La Edilegno s.r.l.	Via Vittorio Veneto, 31/H 31014 Colle Umberto (Treviso)
10.	L.E.R. s.r.l.	Viale Africa, 112 00144 Roma (Roma) Manufacturing plant: Località Saineta 01030 Bassano in Teverina (Viterbo)
11.	Legnami Sangiorgio di Sangiorgio Alessandro & C. s.n.c.	Via Trieste, 28 22036 Erba (Como)
12.	Levill House s.r.l.	Via Giovanni Pardo, 4 90145 Palermo (Palermo)
13.	Mariana Luigi s.r.l.	Via Provinciale per Dubino, 2 23014 Andalo Valtellino (Sondrio)
14.	Mirrione Francesco Legnami s.r.l.	Via Gamarra, 25 91011 Alcamo (Trapani)
15.	Pacchiani Holz s.r.l.	Via Folzoni, 12 24052 Azzano San Paolo (Bergamo)
16.	Pircher Oberland s.p.a.	Via Renza, 43 39034 Dobbiaco (BZ)
17.	Renzetti Saverio & Fratelli s.n.c.	Via Guazzi 52010 Bibbiena (Arezzo)
18.	Subissati	Via Fratelli Lombardi, 2-6 60010 Ostra Vetere AN
19.	Vilte legnami s.r.l	Via Arturo Toscanini, 3 20063 Cernusco sul Naviglio (MI)

Annex 2 Geometry and Installation of Profiled Boards – Examples

Figure 1: Example of cross section of solid wood boards for flatwise structural use with overlapping edge profiles – complementary tongue and groove. The dashed lines show the limits of the width of the cross section for grading and design.

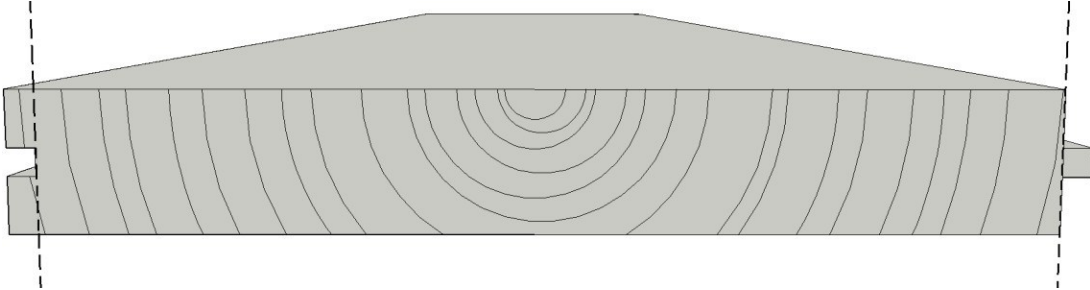


Figure 2: Example of cross section of solid wood boards for flatwise structural use with overlapping edge profiles – complementary rebates. The dashed lines show the limits of the width of the cross section for grading and design.

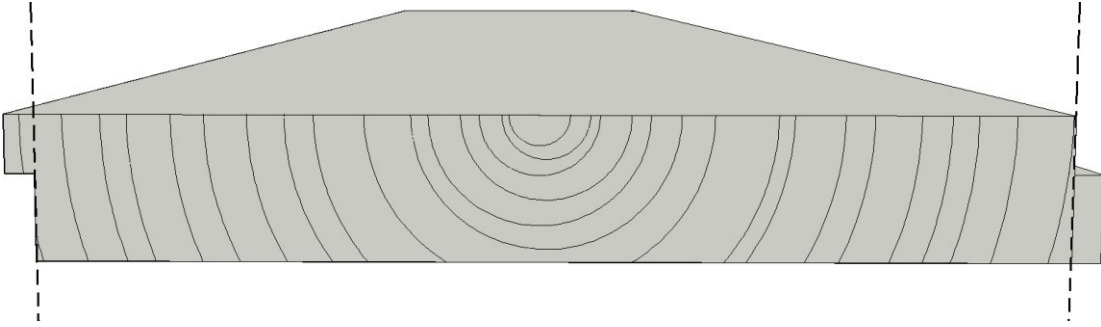


Figure 3: Example: staggered lay-up of tongue and groove profiled boards.

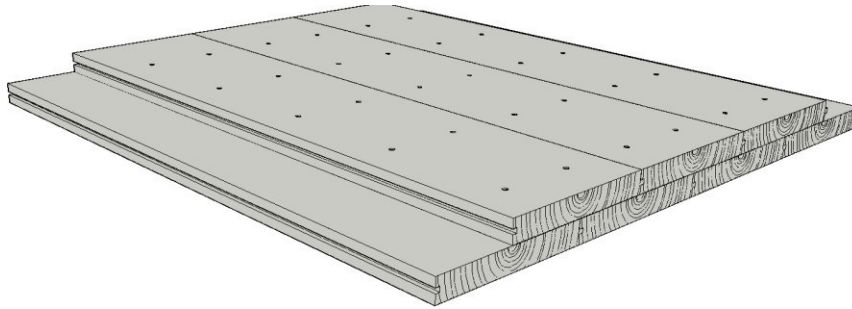


Figure 4: Example: staggered lay-up of rebate profiled boards.

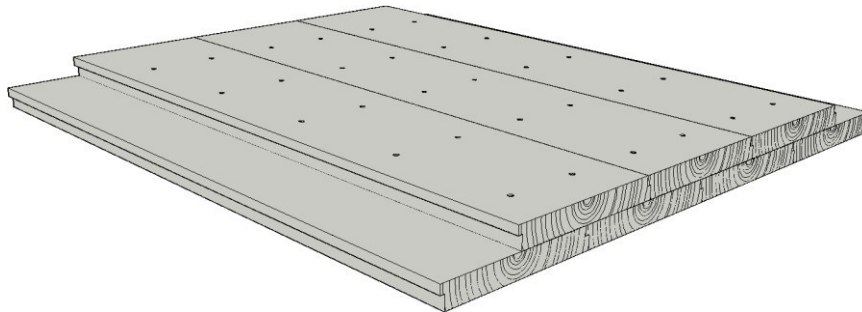


Figure 5: Example: crossed lay-up of tongue and groove profiled boards.

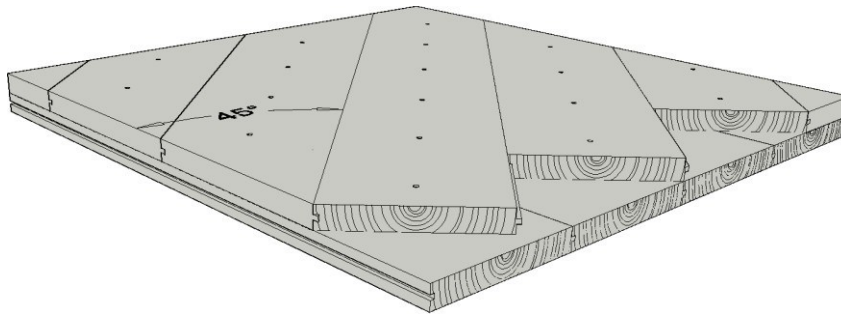
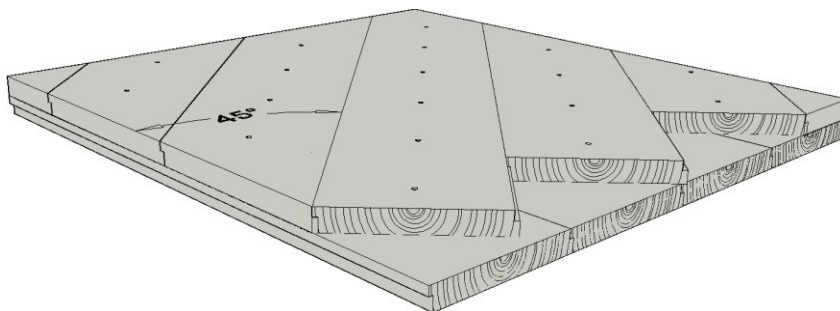


Figure 6: Example: crossed lay-up of rebate profiled boards.



Annex 3 Design of Solid Wood boards for Flatwise Structural Use with Overlapping Edge Profiles

Design of solid wood boards for flatwise structural use with overlapping edge profiles is in accordance with EN 1995-1-1, EN 1995-1-2 and EN 1998-3 (for seismic actions), taking into account the following items.

- a) For mechanical actions perpendicular to the plane

According to Clause 3.2 of EN 1995-1-1, for solid timber with a characteristic density $\leq 700 \text{ kg/m}^3$ the reference depth of the nominal cross-section in bending is 150 mm. For depths in bending of solid timber less than 150 mm the characteristic value $f_{m,k}$ should be increased by the factor k_h given by:

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \right. \\ \left. 1,3 \right.$$

Where h is the depth in bending in mm.

According to Clause 6.6 of EN 1995-1-1, when the profiled boards are installed in more than one layer (either staggered as in Figures 3 and 4 or crossed as in Figures 5 and 6), the member strength properties shall be multiplied by a system strength factor k_{sys} as given in Figure 6.12 of EN 1995- 1-1 for nailed or screwed laminations.

- b) For mechanical actions parallel to the plane

According to Clause 3.2 of EN 1995-1-1 for solid timber with characteristic density $\leq 700 \text{ kg/m}^3$, the reference width of nominal cross-section (maximum cross sectional dimension) in tension is 150 mm. For widths in tension of solid timber less than 150 mm the characteristic value $f_{t,k}$ should be increased by the factor k_h given by:

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \right. \\ \left. 1,3 \right.$$

Where h is the width for tension in mm.

Annex 4 Characteristic data of solid wood boards for flatwise structural use with overlapping edge profiles

Table 2: Product performance of grades of S7, S10, S13 of solid wood boards for flatwise structural use with overlapping edge profiles of Spruce, Fir, Larch, Douglas Fir and Pine

BWR ¹⁾	Essential characteristic	Assessment method	Level, class or description		
			S7	S10	S13
1	Mechanical resistance of solid wood boards for flatwise structural use with overlapping edge profiles of Spruce, Fir, Larch, Douglas Fir and Pine				
	Strength class (Spruce and Pine)	2)	C18 or T12	C24 or T14.5	C30 or T21
	Strength class (Fir and Larch)	2)	C16 or T10	C24 or T14.5	C30 or T21
	Strength class (Douglas Fir)	2)	C18 or T12	C24 or T14.5	C35 or T26
	Dimensional timber	EN 336	Tolerance classes according to EN 336		
	Durability of timber • wood destroying fungi ³⁾	EN 350	Class 5 (Class 4 if sapwood is excluded)		
	Service classes	EN 1995-1-1	1, 2		
2	Reaction to fire				
	Solid wood boards for flatwise structural use with overlapping edge profiles of Spruce, Fir, Larch, Douglas Fir and Pine	Commission Decision 2003/43/EC, as amended	D-s2, d0		
	Resistance to Fire				
	Charring rate	EN 1995-1-2			
NOTES					
1) Basic Works Requirements;					
2) EAD 130196-00-0304 and EN 338;					
3) The natural durability in accordance with EN 350 shall be declared with specific reference to sapwood if the producer makes no special provision for its exclusion.					

Table 3: Product performance of grades of “LS10 and better” solid wood boards for flatwise structural use with overlapping edge profiles of Oak

BWR ¹⁾	Essential characteristic	Assessment method	Level, class or description
			LS10 and better
1	Mechanical resistance of solid wood boards for structural use with tongue and groove profiles of Oak		
	Strength class of boards (Oak)	²⁾	D30
	Dimensional timber	EN 336	Tolerance classes according to EN 336
	Durability of timber <ul style="list-style-type: none"> • wood destroying fungi ³⁾ 	EN 350	Class 5 (Class 4 if sapwood is excluded)
	Service classes	EN 1995-1-1	1, 2
2	Reaction to fire		
	Solid wood panelling for structural use with tongue and groove profiles of Spruce, Fir, Larch, Douglas Fir and Pine	Commission Decision 2003/43/EC, as amended	D-s2, d0
	Resistance to Fire		
	Charring rate	EN 1995-1-2	
NOTE			
1) Basic Works Requirement;			
2) EAD 130196-00-0304 and EN 338;			
3) The natural durability in accordance with EN 350 shall be declared with specific reference to sapwood if the producer makes no special provision for its exclusion.			

Annex 5 Reference Documents

Where no edition date is given in the list of standards below, the standard in its current version at the time of issuing the European Technical Assessment is of relevance.

EN 336	Structural timber – Sizes, permitted deviations
EN 350	Durability of wood and wood-based products. Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials
EN 1912	Structural Timber – Strength classes – Assignment of visual grades and species
EN 1995-1-1	Eurocode 5 – Design of timber structure – Part 1-1: General – Common Rules and rules for building
EN 1995-1-2	Eurocode 5 – Design of timber structure – Part 1-1: General – Structural fire design
EN 1998-3	Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment and retrofitting of buildings
EN 13183-2	Moisture content of a piece of sawn timber – Part 2: Estimation by electrical resistance method
EN 14081-1	Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 1: General requirements
DIN 4074-1	Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadelschnittholz (Strength grading of wood – Part 1: machined softwood)
DIN 4074-5	Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 5: Laubschnittholz (Strength grading of wood – Part 5: machined hardwood)
96/603/EC	Commission Decision 96/603/EC of 04 October 1996 establishing the list of products belonging to Classes A "No contribution to fire" provided for in Decision 94/611/EC implementing Article 20 of Council Directive 89/106/EEC on construction products, OJ L 267 of 19.10.1996, p. 23, Amended by Commission Decision 2000/605/EC of 26 September 2000, OJ L 258 of 12.10.2000, p. 36, and Commission Decision 2003/424/EC of 06 June 2003 OJ L 144 of 12.06.2003, p. 9
97/176/EC	Commission Decision 97/176/EC of 17 February 1997 on the procedure for attesting the conformity of construction products pursuant to Article 20 (2) of Council Directive 89/106/EEC as regards structural timber products and ancillaries, OJ L 73 of 14.03.1997, p. 19, Amended by Commission Decision 2001/596/EC of 8 January 2001, OJ L 209 of 02.08.2001, p. 33
CPR 305/2011	Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 09 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC, OJ L 088 of 04.04.2011, p. 5

568/2014/EC

Commission Delegated Regulation (EU) No 568/2014 of 18 February 2014 amending Annex V to Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council as regards the assessment and verification of constancy of performance of construction products

GLULAM GLT □



© Christof Lackner

binderholz NATURE IN ARCHITECTURE



WOOD - AN INTELLIGENT RAW MATERIAL

Wood is a fascinating, versatile and intelligent material that plays an important role for us humans in many different ways. In addition to its important role as a provider of well-being, protection and wood as a natural raw material the young tree in the forest fulfils another valuable function: it extracts harmful CO₂ from the air, binds carbon C and releases oxygen O₂ into the atmosphere.

Wood has a broad and fascinating range of uses. Whether as a simple wooden spoon, a musical instrument, object of art, furniture, heat and energy provider or as a high-tech product for solid wood structures, we come into contact with this unique raw material every day. The characteristics of this intelligent material are reflected in its load-bearing capacity, durability, stability and fire resistance, to name but a few. Wood also has a positive influence on the well-being of humans and therefore on their health.

BENEFITS OF GLULAM GLT

uncomplicated | fast | light | stable

load-bearing capacity • dimensional stability
short construction times • low weight • high value surface quality
high level of prefabrication • large variety of shapes
small component dimensions with high strength levels
architectural and constructional versatility



BINDERHOLZ GLULAM GLT

binderholz is a full-range supplier for glulam products. Its core competence lies in the production of straight as well as special shaped beams. Glulam consists of at least 3 timber lamellas glued parallel to the grain. Through grading by strength and homogenization of the timber lamellas, a high level of load-bearing capacity is achieved in comparison to common construction timber. High load-bearing capacity, dimensional stability, product variety and excellent surface quality allow for a broad range of application options in the area of construction.

GLULAM GLT QUALITIES

Quality features - Glulam in compliance to EN 14080		
Grade	visible quality	non-visible quality
Surface	planed on 4 sides, chamfered	planed on 4 sides, chamfered, rough areas permitted in some cases
Insect attack	not permitted	permitted to a minor degree
Pith	permitted	permitted
Discoloration Blue stain / red streak	in principle free of color defects, up to 5% of the surface permitted	permitted
Resin pocket	admissible up to 5 x 50 mm, no cluster	permitted
Intergrown knots	permitted	permitted
Black knots	permitted up to 30 mm	permitted
Fallen-out knots	permitted up to 10 mm	permitted up to 20 mm
Pin knots	permitted	permitted

GLULAM GLT CATEGORIES ACCORDING TO EN 1995-1-1

Category 1: This category is characterized by a moisture content in the materials that corresponds to a temperature of 20° C and a relative humidity of the ambient air exceeding the value of 65% only for a few weeks annually (heated inside space).

Category 2: This category is characterized by a moisture content in the materials that corresponds to a temperature of 20° C and a relative humidity of the ambient air exceeding the value of 85% only for a few weeks annually (protected outside space).

Category 3: This category is characterized by climate conditions that result in higher levels of moisture contents than in category 2 (unprotected outside space); melamine resin admissible / 33 mm lamella required.

	GL 24	GL 28	GL 30	GL 32*
Assembly	combined (c) / homogeneous (h)			
Wood Species	spruce			
Manufacture	in accordance with EN 14080			
Moisture content	9 - 14 %			
Mechanical grading	in accordance with EN 14081-3			
Lamella thickness	40 mm			
Gluing	modified melamine resin, light, non-darkening joints			
Surface quality	planed on 4 sides, chamfered edges, visible quality, non-visible quality			
Packaging	in packets, can be individually wrapped on request			
External monitoring	Holzforschung Austria			
Calculatory combustion behavior	0,7 mm / min			
Emission category	< E1 according to EN 14080, test reports on request			
Fire behavior	D-s2, d0			
Dimension tolerance	width ± 2 mm height ± 2 mm length $\pm 0,1$ %			
Change in shape	axially: 0,01 - 0,02 % per % change in moisture content radially: 0,19 % per % change in moisture content tangentially: 0,34 % per % change in moisture content			
Heat conductivity	0,13 W/mk			
Water vapor resistance coefficient	$\mu = 40$			

* on request

GLULAM GLT SPECIFIC VALUES FOR DIMENSIONINGEN 1995-1-1:2010-12, EN 14080:2013

Component	Combined glulam				Homogeneous glulam			
	GL 24c	GL 28c	GL 30c	GL 32c*	GL 24h	GL 28h	GL 30h*	GL 32h*
Strength values (N/mm²)								
Deflection ($f_{m,g,k}$)	24	28	30	32	24	28	30	32
Tension: parallel ($f_{t,0,g,k}$)	17	19,5	19,5	19,5	19,2	22,3	24	25,6
Tension: at right angles ($f_{t,90,g,k}$)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Pressure: parallel ($f_{c,0,g,k}$)	21,5	24	24,5	24,5	24	28	30	32
Strength values (N/mm²)								
Modulus of elasticity: parallel ($E_{0,g,mean}$)	11.000	12.500	13.000	13.500	11.500	12.600	13.600	14.200
Modulus of elasticity: at right angles ($E_{90,g,mean}$)	300	300	300	300	300	300	300	300
Shear modulus: $G_{g,mean}$	650	650	650	650	650	650	650	650
Density characteristic values (kg/m³)								
Density $\rho_{g,k}$	365	390	390	400	385	425	440	440

* on request

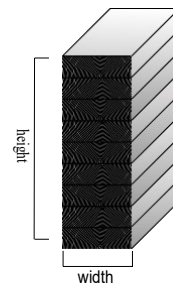
Glulam is manufactured as standard units, in any length, dimension, strength class and surface quality based on customer requirements.



Wood Species	spruce
Quality	visible quality, non-visible quality
Strength classes	GL 24c, GL 24h, GL 28c, GL 28h, GL 30c, GL 30h*, GL 32c*, GL 32h*
Surface and finger joint gluing	modified melamine resin, for categories 1-2, UV-proof and weatherproof, light
Width	60 - 280 mm** (in 20 mm steps)
Height	up to 1.280 mm (in 40 mm steps)
Length	6 - 18 m
Cut to length	3.5 - 18 m

* only visible quality

** width 60 mm is split; only in GL 24 available
width 280 mm in GL 24 available, in GL 28c on request



GLULAM GLT PRODUCTS FROM FINLAND

Product	POST, BEAM, DODAI
Wood Species	pine
Dimensions	90 x 90 mm 90 x 140 mm 105 x 105 mm 120 x 120mm
Length	2650 - 4985 mm
Dimensions	105/120 x 105/120/150/180/210/240/270/300/330/360/390 mm
Length	2750 - 4985 mm
Glue type	MELAMIN (MF) or RESORCINOL (PRF)
Machining	planed on 4 sides, KD 12%
Certification	JAS



Single span beams

Maximum span (m)

In compliance with admissible bending stresses and the L/300 limitation of deflection as well as the maximum transverse force on the support.

Height (mm)	Width (mm)	Load (kN/m)																		
		2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	15,00	20,00	25,00	30,00	
120	60	2,29	2,12	2,00	1,89	1,77	1,67	1,59	1,45	1,34	1,26	1,18	1,12	1,04	0,96	0,77	0,57	0,46	0,38	
	80	2,51	2,34	2,20	2,09	2,00	1,92	1,83	1,67	1,55	1,45	1,37	1,30	1,24	1,18	1,02	0,77	0,61	0,51	
	100	2,70	2,51	2,37	2,25	2,15	2,07	2,00	1,87	1,73	1,62	1,53	1,45	1,38	1,32	1,18	0,96	0,77	0,64	
	120	2,86	2,66	2,51	2,39	2,29	2,20	2,12	2,00	1,89	1,77	1,67	1,59	1,51	1,45	1,30	1,12	0,92	0,77	
160	60	3,04	2,83	2,66	2,52	2,36	2,23	2,11	1,93	1,79	1,67	1,58	1,50	1,39	1,27	1,02	0,77	0,61	0,51	
	80	3,34	3,11	2,93	2,78	2,66	2,56	2,44	2,23	2,06	1,93	1,82	1,73	1,65	1,58	1,36	1,02	0,82	0,68	
	100	3,59	3,34	3,15	2,99	2,87	2,76	2,66	2,49	2,30	2,16	2,03	1,93	1,84	1,76	1,58	1,27	1,02	0,85	
	120	3,80	3,54	3,34	3,18	3,04	2,93	2,83	2,66	2,52	2,36	2,23	2,11	2,02	1,93	1,73	1,50	1,22	1,02	
160	160	4,17	3,88	3,66	3,49	3,34	3,21	3,11	2,93	2,78	2,66	2,56	2,44	2,32	2,23	1,99	1,73	1,55	1,36	
	80	4,16	3,88	3,65	3,47	3,33	3,20	3,04	2,78	2,57	2,41	2,27	2,16	2,06	1,97	1,70	1,27	1,02	0,85	
	100	4,47	4,16	3,95	3,74	3,58	3,44	3,33	3,10	2,87	2,69	2,54	2,41	2,30	2,20	1,97	1,59	1,27	1,06	
	120	4,74	4,41	4,16	3,96	3,80	3,65	3,53	3,33	3,14	2,94	2,78	2,64	2,52	2,41	2,16	1,87	1,53	1,27	
200	140	4,97	4,63	4,37	4,16	3,99	3,84	3,71	3,50	3,33	3,18	3,00	2,85	2,72	2,60	2,33	2,02	1,78	1,49	
	160	5,18	4,83	4,56	4,35	4,16	4,01	3,88	3,65	3,47	3,33	3,20	3,04	2,90	2,78	2,49	2,16	1,93	1,70	
	200	5,55	5,18	4,90	4,66	4,47	4,31	4,16	3,93	3,74	3,58	3,44	3,33	3,22	3,10	2,78	2,41	2,16	1,97	
	80	4,98	4,64	4,38	4,16	3,99	3,83	3,64	3,33	3,09	2,89	2,73	2,59	2,47	2,36	2,03	1,53	1,22	1,02	
240	100	5,35	4,98	4,70	4,47	4,29	4,13	3,99	3,72	3,44	3,23	3,04	2,89	2,76	2,64	2,36	1,91	1,53	1,27	
	120	5,66	5,28	4,98	4,74	4,55	4,38	4,23	3,99	3,77	3,53	3,33	3,16	3,02	2,89	2,59	2,24	1,83	1,53	
	140	5,94	5,54	5,23	4,98	4,78	4,60	4,45	4,19	3,99	3,81	3,59	3,41	3,25	3,12	2,79	2,42	2,14	1,78	
	160	6,19	5,78	5,46	5,20	4,98	4,80	4,64	4,38	4,16	3,99	3,83	3,64	3,48	3,33	2,98	2,59	2,32	2,03	
240	180	6,41	5,99	5,66	5,40	5,17	4,98	4,82	4,55	4,33	4,14	3,99	3,85	3,68	3,53	3,16	2,74	2,46	2,24	
	200	6,62	6,19	5,85	5,58	5,35	5,15	4,98	4,70	4,47	4,29	4,13	3,99	3,86	3,72	3,33	2,89	2,59	2,36	
	100	6,22	5,80	5,47	5,21	4,99	4,81	4,65	4,33	4,01	3,76	3,55	3,37	3,21	3,08	2,76	2,22	1,78	1,49	
	120	6,58	6,14	5,80	5,52	5,29	5,10	4,93	4,65	4,39	4,11	3,88	3,68	3,52	3,37	3,02	2,62	2,14	1,78	
280	140	6,90	6,44	6,09	5,80	5,56	5,36	5,18	4,88	4,65	4,43	4,18	3,97	3,79	3,63	3,25	2,82	2,49	2,08	
	160	7,18	6,71	6,35	6,05	5,80	5,59	5,40	5,10	4,85	4,65	4,47	4,24	4,05	3,88	3,48	3,02	2,70	2,37	
	180	7,44	6,96	6,58	6,28	6,02	5,80	5,61	5,29	5,04	4,83	4,65	4,49	4,29	4,11	3,68	3,20	2,86	2,62	
	200	7,67	7,18	6,80	6,48	6,22	6,00	5,80	5,47	5,21	4,99	4,81	4,65	4,50	4,33	3,88	3,37	3,02	2,76	
320	120	7,49	7,00	6,61	6,30	6,04	5,82	5,62	5,30	5,01	4,69	4,43	4,21	4,01	3,84	3,44	2,99	2,44	2,03	
	140	7,85	7,34	6,94	6,61	6,34	6,11	5,91	5,57	5,30	5,06	4,77	4,53	4,33	4,15	3,72	3,22	2,84	2,37	
	160	8,17	7,64	7,23	6,89	6,61	6,37	6,16	5,82	5,53	5,30	5,10	4,84	4,62	4,43	3,97	3,44	3,08	2,71	
	180	8,46	7,92	7,49	7,15	6,86	6,61	6,40	6,04	5,75	5,51	5,30	5,12	4,89	4,69	4,21	3,65	3,27	2,99	
360	200	8,72	8,17	7,74	7,38	7,09	6,83	6,61	6,24	5,94	5,70	5,48	5,30	5,14	4,94	4,43	3,84	3,44	3,15	
	120	8,40	7,85	7,42	7,07	6,78	6,53	6,32	5,96	5,62	5,27	4,97	4,73	4,51	4,32	3,87	3,36	2,74	2,29	
	140	8,80	8,23	7,78	7,42	7,12	6,86	6,63	6,26	5,96	5,68	5,36	5,09	4,86	4,66	4,18	3,62	3,19	2,67	
	160	9,15	8,57	8,11	7,73	7,42	7,15	6,92	6,53	6,22	5,96	5,72	5,44	5,19	4,97	4,46	3,87	3,47	3,04	
400	180	9,47	8,87	8,40	8,02	7,70	7,42	7,18	6,78	6,46	6,19	5,96	5,76	5,50	5,27	4,73	4,10	3,68	3,36	
	200	9,75	9,15	8,67	8,28	7,95	7,67	7,42	7,01	6,68	6,40	6,16	5,96	5,78	5,55	5,04	4,32	3,87	3,54	
	120	9,30	8,70	8,22	7,84	7,52	7,24	7,01	6,61	6,24	5,85	5,52	5,24	5,01	4,80	4,30	3,73	3,04	2,54	
	140	9,73	9,11	8,62	8,22	7,89	7,61	7,36	6,94	6,61	6,30	5,95	5,65	5,40	5,17	4,64	4,02	3,54	2,96	
440	160	10,12	9,48	8,98	8,57	8,22	7,93	7,67	7,24	6,90	6,61	6,35	6,03	5,76	5,52	4,95	4,30	3,85	3,38	
	180	10,46	9,81	9,30	8,88	8,53	8,22	7,96	7,52	7,16	6,86	6,61	6,39	6,10	5,85	5,24	4,55	4,08	3,73	
	200	10,78	10,12	9,60	9,17	8,81	8,49	8,22	7,77	7,40	7,10	6,84	6,61	6,41	6,15	5,52	4,80	4,30	3,93	
	120	10,19	9,54	9,02	8,61	8,26	7,96	7,70	7,26	6,85	6,42	6,06	5,76	5,50	5,27	4,72	4,10	3,34	2,79	
480	140	10,66	9,99	9,46	9,02	8,66	8,35	8,08	7,63	7,26	6,92	6,54	6,21	5,93	5,68	5,10	4,42	3,89	3,25	
	160	11,08	10,39	9,84	9,40	9,02	8,70	8,42	7,96	7,58	7,26	6,97	6,62	6,33	6,06	5,44	4,72	4,23	3,71	
	180	11,45	10,75	10,19	9,74	9,35	9,02	8,74	8,26	7,86	7,54	7,26	7,01	6,70	6,42	5,76	5,01	4,49	4,10	
	200	11,79	11,08	10,51	10,05	9,66	9,32	9,02	8,53	8,13	7,80	7,51	7,26	7,04	6,76	6,06	5,27	4,72	4,32	
480	120	11,08	10,38	9,82	9,37	8,99	8,66	8,38	7,91	7,46	7,09	6,81	6,58	6,31	6,06	5,44	4,72	4,23	3,71	
	140	11,59	10,86	10,29	9,82	9,43	9,09	8,80	8,31	7,91	7,53	7,12	6,77	6,46	6,19	5,55	4,82	4,24	3,54	
	160	12,03	11,29	10,71	10,23	9,82	9,47	9,17	8,66	8,25	7,91	7,59	7,22	6,89	6,61	5,93	5,15	4,62	4,04	
	180	12,43	11,68	11,08	10,59	10,18	9,82	9,51	8,99	8,57	8,21	7,91	7,64	7,29	6,99	6,28	5,46	4,89	4,47	
600	200	12,79	12,03	11,43	10,93	10,50	10,14	9,82	9,29	8,85	8,49	8,18	7,91	7,67	7,36	6,61	5,74	5,15	4,71	
	120	13,71	12,86	12,19	11,64	11,17	10,78	10,43	9,85	9,28	8,71	8,23	7,82	7,47	7,16	6,42	5,58	4,54	3,79	
	140	14,31	13,44	12,75	12,19	11,71	11,30	10,94	10,34	9,85	9,37	8,86	8,42	8,05	7,71	6,92	6,02	5,29	4,42	
	160	14,84	13,96	13,26	12,68	12,19	11,77	11,40	10,78	10,27	9,85	9,44	8,98	8,58	8,23	7,39	6,42	5,76	5,04	
600	180	15,31	14,42	13,71	13,12	12,62	12,19	11,81	11,17	10,66	10,22	9,85	9,50	9,08	8,71	7,82	6,80	6,10	5,58	
	200	15,74	14,84	14,12	13,52	13,01	12,57	12,19	11,54	11,01	10,56	10,18	9,85	9,54	9,15	8,23	7,16	6,42	5,87	

Transverse force on the support is authoritative.

Transmissible bending stress is authoritative for the dimensioning. Bending is authoritative.

BINDERHOLZ GLULAM GLT CEILING ELEMENTS

Due to the high degree of prefabrication, our glulam GLT ceiling elements can be laid in the shortest possible time to immediately walkable raw ceilings. The underside of the ceiling elements can also be manufactured in visible quality on request. The elements are optimally protected against transport and handling damage by special packaging.

Our state-of-the-art production facilities now also offer these elements with a **sanded surface**. Our glulam can be used not only for ceilings, but also as a wall and roof element.

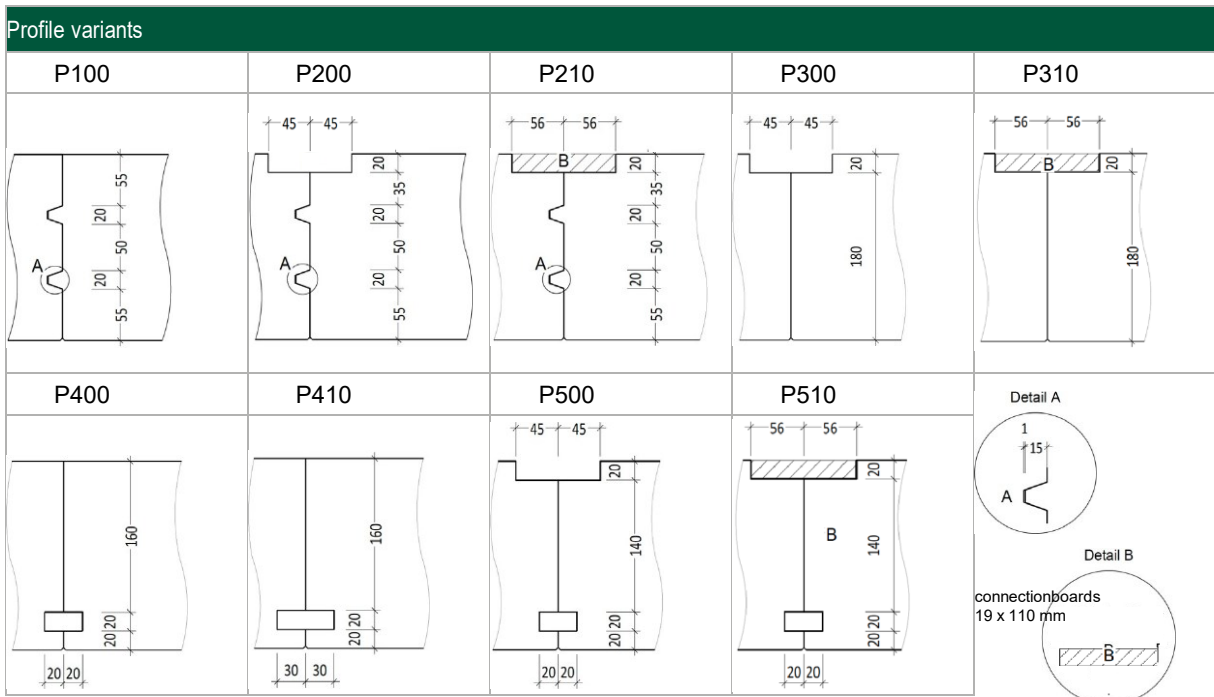
Wood Species	spruce
Strength classes	GL 24h*
Surface and finger joint gluing	modified melamine resin, for NKL 1-2, UV-proof and weatherproof, bright
Length	6 - 18 m
Cut to length	3.5 - 18 m

Default width	600, 1,000 and 1,200 mm
Quality	Visible quality, non-view quality
Thickness	60 to 280 mm (in 20 mm increments)
Special widths	from 240 mm (in 40 mm increments)

* Further strength classes on request

GLULAM GLT CEILING ELEMENTS | PROFILE VARIANTS

- Glulam GLT ceilings can be made in dimensions from 60 mm to 280 mm - see glulam ceiling profiles for details.
- All ceiling elements are made with a 3 to 4 mm chamfer on the underside.
- The following profile dimensions are based on a 200 mm thick ceiling element. Dimensioning for other thicknesses is available on request.
- On request, matching 3-layer solid wood connection boards with the dimensions 19 x 110 mm can be supplied. Price on request.



More information in our glulam GLT ceiling elements brochure

Glulam special components are beams with dimensions that go beyond the standard measurements but also shapes such as pent roof beams, sloped beams with straight bottom cords, curved beams and free shapes. These are available exclusively on request.



Trimming service and special processing

A broad range of trimming services is on offer, from single cuts right up to constructions ready for assembly. By dint of CNC processing, complex timber joints can be produced efficiently and inexpensively by our trimming machines.

Preparation for trimming services

We guarantee expedited processing with the following files: Cadwork (.3d), Dietrich (.zbx), Acis (.sat), Hundegger (.bvn), Krüsi (.btl). It is advisable to include an additional single piece drawing (cadwork .2d or pdf).

Special gluing such as screw-press gluing.

Fasteners can be pre-mounted or delivered on request.

Traditional fasteners are e.g. dovetail connection
Modern fasteners are e.g. Sherpa connections

Impregnation

Laminated beam protection - transparent, non-film forming wood coating agent for transportation and assembly protection
Impregnation - transparent, diluted impregnation for protection against rot, blueness, insects and termites

Paint coating possible on request! The paint has to be provided by the customer.

Additional services

Technical advice

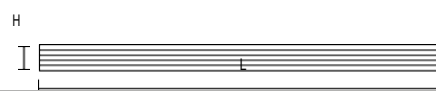

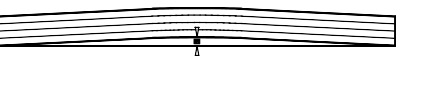
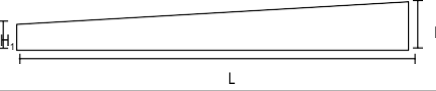
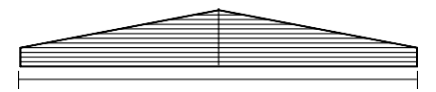
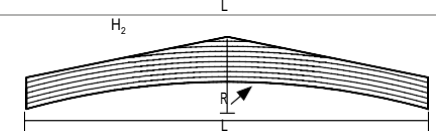
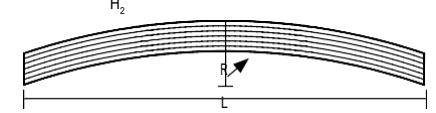
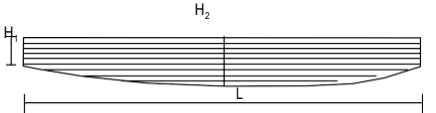
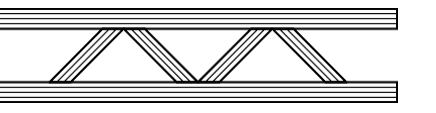

Transport Organization of abnormal loads, necessary approvals and escort vehicles.

Implementation planning can be carried out by our technical team.

Important! The production of special components only sets in following the planning confirmation by the customer. Only then can the delivery date be stated.

Glulam GLT SPECIAL COMPONENTS

Wood species	spruce
Quality	visible quality, non-visible quality
Strength classes	GL 24c, GL 24h, GL 28c, GL 28h, GL 30c, GL 30h*, GL 32c*, GL 32h*
Surface and finger joint gluing	modified melamine resin, for categories 1 - 2, UV-proof and weatherproof, light
Width	120 - 480 mm (in 20 mm steps, double glued beams for 300 mm and above)
Height	up to 2,000 mm (in 40 mm steps)
Length	6 - 32,5 m**

Glulam - special components		Spans (m)	Width (mm)	Height (mm)
Parallel beams		6 - 32,5	120 - 280	max. 2.000
Double gluedbeams		6 - 32,5	280 - 480	max. 2.000
Pre-cambered beams		6 - 32,5	120 - 280	1.000 - 1.840 L/300
Pent roof beam		H ₂ 6 - 32,5	120 - 280	H ₂ max. 2.000
Sloped beams with straight bottom chord		6 - 32,5	120 - 280	H ₂ max. 2.000
Sloped beams with arched bottom chord		6 - 32,5	120 - 280	H ₂ max. 4.500 R ≥ 8 m D* = 4.000
Curved beams		6 - 32,5	120 - 280	H ₂ max. 4.500 R ≥ 8 m D* = 4.000
Fish beam		6 - 32,5	120 - 280	H ₂ max. 2.000
Trusses		15 - 50	120 - 280	1.000 - 1.840 L/300
Free shapes		6 - 32,5	120 - 280	R ≥ 8 m D* = 400

D* = lamella thickness

More shapes can be developed in conjunction with our technical team.

IMPORTANT INSTRUCTION ON THE HANDLING AND STORAGE OF GLULAM

Packaging, storage and climate conditions

GLT is always delivered packed in stretch wrap (unless special customer wish is on hand). With regard to glulam elements, the bottommost element in the package is packed facing upward for protection against fork lift forks; all others are packed facing downward. When glulam is stored, it is advisable to protect the wood adequately against weather influences. The stretch wrap or protection foil is nothing more than a short-term transportation protection and cannot deliver long-term protection from UV radiation and rainfall. In general, with regard to storage, it has to be ensured that the moisture content of the glulam beams does not alter negatively on account of disadvantageous influences, e.g. from soil moisture, rainfall or drying up. The storage on the construction site should never be long. The beams have to be stacked on flat supports and/or bed timber. The beams have to be laid out completely flat so as to prevent imprints. Improper storage can result in lasting visual and even static damage to the glulam beams.

Manipulation and assembly

In order to prevent damage to the GLT in the area of edges and surfaces, they have to be handled with great care. Suitable lifting tools and lifting means have to be deployed (harnesses, loops with edge protection, no chains for strapping). Especially when handling the exposed elements, unnecessary soiling of or damage to the surfaces and edges is to be avoided. Once the beams are integrated into the construction, the exposed surfaces have to be continuously protected from soiling and/or damage as well as against moisture influences (e.g. by covering the exposed surface with foil, cardboard and suchlike). Minor damage or soiling cannot always be 100% prevented during loading, transportation and assembly. This does not establish grounds for complaint. Reworking such as planing and other rectifications has to be taken into account already with the offer calculation!

Fissures / shrink fissures

The GLT is delivered with a moisture content of max. 14 %. The fact that wood changes its volume in the hygroscopic range (from 0 to 30 % moisture content) due to swelling and shrinking processes entails that shrink fissures can occur in the wood. This does not establish grounds for complaint.

The wear of wood, especially outside, is enormous due to fluctuations of temperature and humidity. Shrink fissures can occur in glulam wood, although to a much smaller extent than in solid wood. Owing to the varying material behavior of the glued lamellas between glue and wood, the shrink fissures often run parallel to the glue joints. These are not mis-gluing but material-related qualities.

Weathering, graying

If GLT are exposed to weather conditions, degradation products of the lignin destroyed by UV rays will be washed out by rain water. This natural weathering of the wood amounts to an average of 1 mm in 10 years and results in relief formation on the surface of the element. When GLT are used outside, it is principally possible to forgo chemical wood protection. There are some building law regulations in place in this context that demand structural or chemical wood protection. If untreated wood is exposed to weather conditions, the graying process sets in after a few months. The gray coloration and subsequent weathering of the element's surface exposed to the weather do not constitute a technical defect.



DECLARATION OF PERFORMANCE No. CES020130620

1.- Identification code of the product type and any other element allowing identification of the product:

Dry-pressed ceramic tiles with water absorption AA>10% for internal walls

2.- Intended use:

Internal walls

3.- Name or registered mark and address of the manufacturer

Spanish Tiles from Nules, SAU (Stn Ceramica)

Ctra. Nules – Villavieja, Km 16

Nules (Castellon) ESPAÑA

4.- System of assessment and verification of constancy of performance (AVCP)

System 4

5.- Name and identification number of notified laboratory, if relevant:

Not relevant

6.- Declared Performances:

Essential characteristics	Performance	Harmonised technical specification
Reaction to Fire	Class A1	EN 14411:2012
Release of dangerous substance for: - Cadmium - Lead	PND PND	
Breaking Strength	> 600 N	
Slipperiness PTV (wet), slider 57, CEN/TS 16165:2012	PND	
Tactility	PND	
Bond strength/adhesión fro Cementitious adhesive type C1	> 0,5 N/mm2	
Thermal shock resistance	PND	
Durability for: - Internal use - External use	Pass PND	

The performance of the product identified in point 1 is in conformity with the declared performances in point 6.

This declaration of performance is issued under the sole responsibility of the manufacturer identified in point 3.

Nules, a 1/07/2013


Enrique Aparici Bañón
 Apoderado


CERAMICA
 SPANISH TILE FROM NULES SAU
 Ctra. Nules-Villavieja, Km. 16
 12520 NULES (Castellón)
 T. 961 12 31 59 17

ANEXO IV - ANÁLISE ACÚSTICA COM RECURSO AO PROGRAMA CYPE

ÍNDICE

1. SISTEMA ENVOLVENTE	31
1.1. Fachadas	31
1.1.1. Parte opaca das fachadas	31
1.1.2. Aberturas em fachada	31
1.2. Coberturas	32
1.2.1. Parte maciça das coberturas planas	32
2. SISTEMA DE COMPARTIMENTAÇÃO	33
2.1. Compartimentação interior vertical	33
2.1.1. Parte opaca da compartimentação interior vertical	33
2.1.2. Aberturas verticais interiores	34
3. MATERIAIS	34

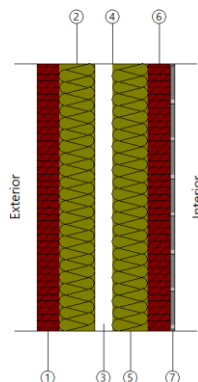


1. SISTEMA ENVOLVENTE

1.1. Fachadas

1.1.1. Parte opaca das fachadas

Parede Casa de Banho Superfície total 32.44 m²



Listagem de camadas:

1 - CLT 50mm	5 cm
2 - Cortiça 8 cm	8 cm
3 - Ar	4 cm
4 - Rothoblaas	0.03 cm
5 - Cortiça 8 cm	8 cm
6 - CLT 50mm	5 cm
7 - Cerâmica	1 cm
Espessura total:	31.03 cm

Comportamento térmico

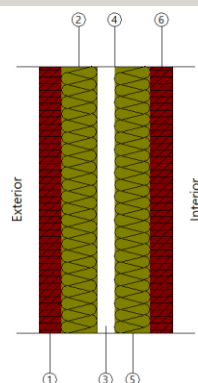
U: 0.23 W/(m²·°C)

Comportamento acústico (RRAE) Massa superficial: 95.84 kg/m²

Isolamento sonoro, R_w(C; C_{tr}): 40.6(-1; -1) dB

Calculado segundo o método de previsão gráfica

Parede Exterior Superfície total 7.37 m²



Listagem de camadas:

1 - CLT 50mm	5 cm
2 - Cortiça 8 cm	8 cm
3 - Ar	4 cm
4 - Rothoblaas	0.03 cm
5 - Cortiça 8 cm	8 cm
6 - CLT 50mm	5 cm
Espessura total:	30.03 cm

Comportamento térmico

U: 0.23 W/(m²·°C)

Comportamento acústico (RRAE) Massa superficial: 75.84 kg/m²

Isolamento sonoro, R_w(C; C_{tr}): 34.1(-1; -1) dB

Calculado segundo a lei experimental da massa e frequência

1.1.2. Aberturas em fachada

Porta Entrada



Dimensões	Largura x Altura: 100 x 203 cm	nº uds: 1
Caracterização térmica	Transmitância térmica, U: 2.00 W/(m ² ·°C) Absortividade, α _S : 0.6 (cor média)	
Caracterização acústica	Isolamento sonoro, R _w (C;C _{tr}): 40 (-1;-2) dB Absorção, α _{500Hz} = 0.05; α _{1000Hz} = 0.07; α _{2000Hz} = 0.09	

Janela

Características do vidro	Transmitância térmica, U _g : 2.33 W/(m ² ·°C) Factor solar, g: 0.76 Isolamento sonoro, R _w (C;C _{tr}): 30 (-1;-1) dB
--------------------------	---

Dimensões: 140.4 x 102 cm (largura x altura)				nº uds: 1
Transmissão térmica	U _w	2.33	W/(m ² ·°C)	
Características energéticas e luminosas	F	0.76		
	F _H	0.76		
Caracterização acústica	R _w (C;C _{tr})	30 (-1;-1)	dB	

Notas:

- U_w: Coeficiente de transmissão térmica da abertura (W/(m²·°C))*
- F: Factor solar da abertura*
- F_H: Factor solar modificado*
- R_w (C;C_{tr}): Valores de isolamento sonoro (dB)*

1.2. Coberturas

1.2.1. Parte maciça das coberturas planas

Teto	Superfície total 11.10 m ²
-------------	---------------------------------------

	Listagem de camadas:	
	1 - clt 70	7 cm
	2 - Cortiça 10 cm	10 cm
	3 - Rothoblaas	0.03 cm
	4 - Ar	5 cm
	5 - Cortiça 10 cm	10 cm
	6 - clt 70	7 cm
Espessura total:		39.03 cm

Comportamento térmico	U arrefecimento: 0.18 W/(m ² ·°C) U aquecimento: 0.19 W/(m ² ·°C)
Comportamento acústico (RRAE)	Massa superficial: 102.25 kg/m ² Isolamento sonoro por ensaio, R _w (C; C _{tr}): 70.0(-1; -3) dB Referência do ensaio: 1

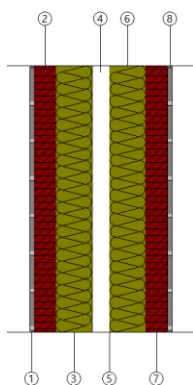


2. SISTEMA DE COMPARTIMENTAÇÃO

2.1. Compartimentação interior vertical

2.1.1. Parte opaca da compartimentação interior vertical

Paredes Entre Casa de Banho Superfície total 6.07 m²



Listagem de camadas:

1 - Cerâmica	1 cm
2 - CLT 50mm	5 cm
3 - Cortiça 8 cm	8 cm
4 - Ar	4 cm
5 - Rothoblaas	0.03 cm
6 - Cortiça 8 cm	8 cm
7 - CLT 50mm	5 cm
8 - Cerâmica	1 cm
Espessura total:	32.03 cm

Comportamento térmico

U: 0.23 W/(m²·°C)

Comportamento acústico (RRAE)

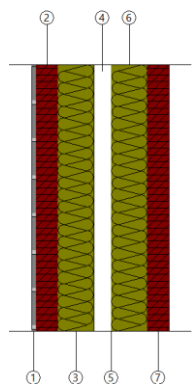
Massa superficial: 115.84 kg/m²

Massa superficial do elemento base: 75.80 kg/m²

Isolamento sonoro, R_w(C; C_{tr}): 40.6(-1; -1) dB

Calculado segundo o método de previsão gráfica

Parede dentro de módulo Superfície total 5.31 m²



Listagem de camadas:

1 - Cerâmica	1 cm
2 - CLT 50mm	5 cm
3 - Cortiça 8 cm	8 cm
4 - Ar	4 cm
5 - Rothoblaas	0.03 cm
6 - Cortiça 8 cm	8 cm
7 - CLT 50mm	5 cm
Espessura total:	31.03 cm

Comportamento térmico

U: 0.23 W/(m²·°C)

Comportamento acústico (RRAE)

Massa superficial: 95.84 kg/m²

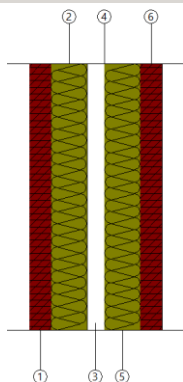
Massa superficial do elemento base: 75.80 kg/m²

Isolamento sonoro, R_w(C; C_{tr}): 40.6(-1; -1) dB

Calculado segundo o método de previsão gráfica



Parede corete Superfície total 1.25 m²



Listagem de camadas:

1 - CLT 50mm	5 cm
2 - Cortiça 8 cm	8 cm
3 - Ar	4 cm
4 - Rothoblaas	0.03 cm
5 - Cortiça 8 cm	8 cm
6 - CLT 50mm	5 cm
Espessura total:	30.03 cm

Comportamento térmico

U: 0.23 W/(m²·°C)

Comportamento acústico (RRAE) Massa superficial: 75.84 kg/m²

Isolamento sonoro, R_w(C; C_{tr}): 40.6(-1; -1) dB

Calculado segundo o método de previsão gráfica

2.1.2. Aberturas verticais interiores

Porta

Dimensões	Largura x Altura: 75 x 203 cm	nº uds: 3
Caracterização térmica	Transmitância térmica, U: 2.00 W/(m ² ·°C)	
	Absortividade, α _s : 0.6 (cor média)	
Caracterização acústica	Isolamento sonoro, R _w (C; C _{tr}): 50 (-1; -2) dB	
	Absorção, α _{500Hz} = 0.05; α _{1000Hz} = 0.07; α _{2000Hz} = 0.09	

3. MATERIAIS

Camadas					
Material	e	ρ	λ	RT	Cp
Ar	4	1	0.222	0.18	1000
Ar	5	1	0.313	0.16	1000
Cerâmica	1	2000	1.25	0.008	630
CLT 50mm	5	500	0.13	0.385	1300
clt 70	7	500	0.13	0.538	1300
Cortiça 10 cm	10	160	0.05	2	2000
Cortiça 8 cm	8	160	0.05	1.6	2000
Rothoblaas	0.03	667	0.3	0.001	1800
Abreviaturas utilizadas					
e	Espessura (cm)		RT	Resistência térmica (m ² °C/W)	
ρ	Densidade (kg/m ³)		Cp	Calor específico (J/(kg·°C))	
λ	Condutibilidade térmica (W/(m·°C))				



ÍNDICE

1. ISOLAMENTO SONORO	31
1.1. Resultados da estimativa do isolamento sonoro	31
1.2. Justificação de resultados do cálculo do isolamento sonoro	32
1.2.1. Isolamento sonoro a sons de condução aérea contra ruído do exterior	32

ISOLAMENTO SONORO

O presente estudo do isolamento sonoro do edifício é o resultado do cálculo de todas as possíveis combinações de pares de emissores e receptores sonoros presentes no edifício, conforme a regulamentação vigente (Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios), obtido com base em métodos de cálculo para a estimativa de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão entre compartimentos e isolamento sonoro a sons de condução aérea provenientes do exterior, descritos nas normas NP EN 12354-1,2,3.

O edifício objecto de estudo situa-se numa zona mista ou sensível, conforme o estipulado nas alíneas c), d) e e) do nº 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído.

Para os cálculos do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea provenientes do exterior, foi considerado um tipo de ruído dominante de emissão correspondente a um espectro de ruído rosa (termo de adaptação C).

Em todos os cálculos intermédios, assim como nas correcções finais dos índices de isolamento calculados, foi utilizado um tempo de reverberação de referência (T_0) de 0.5 s e uma área de absorção sonora equivalente de referência (A_0) de 10 m².

1.1. Resultados da estimativa do isolamento sonoro

Apresentam-se aqui os resultados mais desfavoráveis de isolamento sonoro calculados no edifício, classificados de acordo com as diferentes combinações de compartimentos emissores e receptores presentes na regulamentação vigente.

Em concreto, verifica-se aqui o cumprimento das exigências acústicas descritas no Artigo 5 do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, referentes aos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea interior, sons de percussão e sons de condução aérea exterior.

Os resultados finais mostrados são acompanhados dos valores intermédios mais significativos, apresentando o cálculo detalhado no capítulo de justificação de resultados deste mesmo documento, para cada uma das entradas nas tabelas de resultados.



Estudo acústico do edifício

Isolamento sonoro a sons de condução aérea exterior

Id	Compartimento receptor	% aberturas	$R_{Dd,w}$ (dB)	R'_w (dB)	S_S (m ²)	V (m ³)	$D_{2m,nT,w/A}$ (dB)	
							exigido	estimado
1	Quarto (Quarto), Paredes piso 1	24.1	35.1	33.7	5.93	23.5	33	34.8

Notas:

Id: Identificador da ficha de cálculo detalhado para a entrada de resultados na tabela

% aberturas: Percentagem de aberturas da superfície

$R_{Dd,w}$: Índice ponderado de redução sonora para a transmissão directa

R'_w : Índice de redução sonora aparente

S_S : Área total em contacto com o exterior

V: Volume do compartimento receptor

$D_{2m,nT,w/A}$: Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado

Segundo a norma NP EN 12354-3, representa-se a soma entre o índice de isolamento sonoro a sons aéreos provenientes do exterior e o termo de adaptação espectral da seguinte forma: $D_{2m,nT,w} + C = D_{2m,nT,A}$

1.2. Justificação de resultados do cálculo do isolamento sonoro

1.2.1. Isolamento sonoro a sons de condução aérea contra ruído do exterior

Apresenta-se seguidamente o cálculo detalhado da estimativa de isolamento sonoro a sons de condução aérea provenientes do exterior, para os valores mais desfavoráveis apresentados nas tabelas resumo do capítulo anterior, segundo o modelo simplificado para a transmissão estrutural descrito em NP EN 12354-3:2000, que utiliza para a previsão do índice ponderado de redução sonora aparente global, os índices ponderados dos elementos envolvidos, segundo os procedimentos de ponderação descritos na norma EN ISO 717-1.

Para a adequada correspondência entre a justificação de cálculo e a apresentação de resultados do capítulo anterior, serão numeradas as fichas seguintes conforme a numeração das entradas nas tabelas resumo de resultados.

1 Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m,nT,w}$

Tipo de compartimento receptor:	Quarto
Localização do compartimento receptor:	Paredes piso 1, unidade de utilização Quarto
Orientação da fachada:	90.0° (Este)
Área total em contacto com o exterior, S_S:	5.9 m ²
Percentagem de aberturas da superfície:	24.1 %
Volume do compartimento receptor, V:	23.5 m ³

$$D_{2m,nT,w} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \log \left(\frac{V}{6T_0 S_S} \right) = 34.8 \text{ dB} \geq 33 \text{ dB}$$



= 33.7 dB

Dados de entrada para o cálculo:

Fachada

Elemento estrutural básico m R_w Revestimento interior $\Delta R_{d,w}$ S_i



Estudo acústico do edifício

	(kg/m ²)	(dB)		(dB)	(m ²)
Parede Casa de Banho	96	40.6	Ceramica	0	4.50

Aberturas em fachada

Aberturas verticais	R _w (dB)	S _i (m ²)
Janela de janela	30.0	1.43

Elementos marginais

	Elemento estrutural básico	m (kg/m ²)	R _w (dB)	Revestimento	ΔR _w (dB)	L _f (m)	S _i (m ²)	Ligações
F1	Sem elemento marginal emissor							
f1	Parede Casa de Banho	96	40.6	Ceramica	0	2.6	5.9	
F2	Sem elemento marginal emissor							
f2	Parede Exterior	76	34.1	CLT	0	2.6	5.9	
F3	Sem elemento marginal emissor							
f3	Teto	102	70.0		0	2.3	5.9	

Cálculo de isolamento sonoro a sons de condução aérea em fachadas, coberturas e pavimentos em contacto com o ar exterior:

Contribuição directa, R_{Dd,w}:

Elemento separador	R _{D,w} (dB)	ΔR _{Dd,w} (dB)	R _{Dd,w} (dB)	S _S (m ²)	S _i (m ²)	R _{Dd,m,w} (dB)	τ _{Dd}
Parede Casa de Banho	40.6	0	40.6	5.9	4.5	41.8	6.60822e-005
Janela de janela	30.0		30.0	5.9	1.4	36.2	0.000241275
			35.1				0.000307357

Contribuição de Directo a lateral, R_{Df,w}:

Lateral	R _{D,w} (dB)	R _{f,w} (dB)	ΔR _{Df,w} (dB)	K _{Df} (dB)	L _f (m)	S _i (m ²)	R _{Df,w} (dB)	S _i /S _S ·τ _{Df}
1	40.6	40.6	0	-0.1*	2.6	5.9	44.1	3.89045e-005
2	40.6	34.1	0	-0.1*	2.6	5.9	40.8	8.31764e-005
3	40.6	70.0	0	-0.4*	2.3	5.9	59.1	1.23027e-006
							39.1	0.000123311



Estudo acústico do edifício

(*) Valor mínimo para o índice de redução sonora, obtido segundo relações de comprimento e superfície na ligação entre elementos construtivos, conforme a equação 23 de EN 12354-1.

Índice global de redução sonora aparente, R'_w :

	R'_w (dB)	τ
$R_{Dd,w}$	35.1	0.000307357
$R_{Df,w}$	39.1	0.000123311
	33.7	0.000430668

Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m,nT,w}$:

R'_w (dB)	ΔL_{fs} (dB)	V (m ³)	T_0 (s)	S_S (m ²)	$D_{2m,nT,w}$ (dB)
33.7	0	23.5	0.5	5.9	34.8

ANEXO V - ANÁLISE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUAS COM O PROGRAMA CYPE

Cálculo hidráulico

As perdas de pressão em cada tramo da rede calcula-se com a fórmula de Darcy-Weisbach:

h_p : Perda de carga (mca)
L: Comprimento da tubagem (m)
Q: Caudal que circula na tubagem (m^3/s)
g: Aceleração da gravidade (m/s^2)
D: Diâmetro interior da tubagem (m)

O factor de atrito 'f' é função de:

O número de Reynolds (Re)

É um número adimensional. O seu valor indica se o fluxo segue um modelo laminar ou turbulento. Representa a relação entre as forças de inércia e as forças viscosas na tubagem.

V: Velocidade do fluido na tubagem (m/s)
D: Diâmetro interior da tubagem (m)
 ν : Viscosidade cinemática do fluido (m^2/s)

A rugosidade relativa (ϵ/D)

Traduz matematicamente as imperfeições do tubo.

Para o cálculo do factor de atrito utiliza-se a fórmula de Colebrook-White. Através de um cálculo iterativo, obtém-se um resultado exacto do factor de atrito.

Cálculo das redes de retorno de água quente:

Calcula-se um caudal mínimo de recirculação que garanta uma perda de temperatura determinada, desde o equipamento de produção de A.Q.S. até aos pontos de consumo.

E_p : Calor dissipado (Kcal/h)
Q: Caudal no tramo (l/h)
 T_e T_s : Temperaturas de entrada e de saída no tramo ($^{\circ}C$)

O cálculo calorífico efectuado considera as perdas de calor no circuito de água quente, considerando a existência ou não de isolamento térmico nas referidas tubagens.

A formulação utilizada para o cálculo sem isolamento térmico é a seguinte:

A formulação utilizada para o cálculo com isolamento térmico é a seguinte:

E_p : Calor dissipado (W/m)

ΔT : Diferença de temperatura entre a água quente e o ambiente. ($^{\circ}C$)

D: Diâmetro interior da tubagem (m)

h_e : Coeficiente de convecção exterior

h_i : Coeficiente de convecção interior

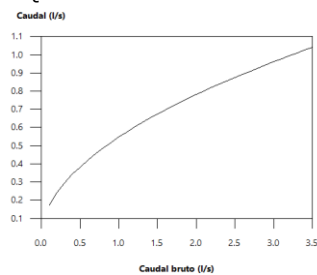
e: Espessura do isolamento térmico (m)

λ : Condutibilidade térmica do isolamento (W/mK)

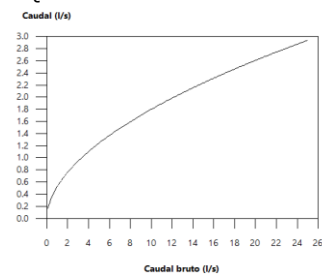
Simultaneidade

Nível de conforto médio

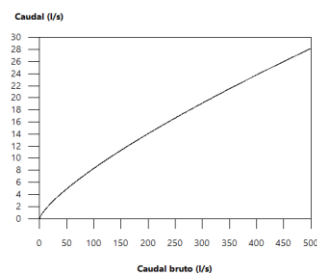
$Q_t \leq 3.5$ $Q_{min} > 0$ $x_1 = 0.5469$ $x_2 = 0.5137$ $x_3 = 0$



$Q_t \leq 25$ $Q_{min} > 0$ $x_1 = 0.5226$ $x_2 = 0.5364$ $x_3 = 0$



$Q_t \leq 500$ $Q_{min} > 0$ $x_1 = 0.2525$ $x_2 = 0.7587$ $x_3 = 0$



Potência dos equipamentos de produção de A.Q.S.

Directo

Auxiliar

Q: Caudal
T: Temperatura de acumulação
 T_{HW} : Temperatura da água quente
 T_{CW} : Temperatura da água fria de rede
 C_p : Calor específico
V: Volume de acumulação
t: Tempo
 η : Rendimento

Consumos

Lavatório individual

Lavatório individual

Dados para dimensionamento e verificação

Altura das válvulas	0.5	m
Caudal de água fria	0.1	l/s
Caudal de água quente	0.1	l/s
Diâmetro	12	mm
Pressão mínima	5	mca
Pressão máxima	60	mca

Chuveiro individual

Chuveiro individual

Dados para dimensionamento e verificação

Altura das válvulas	2	m
Caudal de água fria	0.15	l/s
Caudal de água quente	0.15	l/s
Diâmetro	12	mm
Pressão mínima	5	mca
Pressão máxima	60	mca

Autoclismo de bacia de retrete

Autoclismo de bacia de retrete

Dados para dimensionamento e verificação

Altura das válvulas	0.5	m
Caudal	0.1	l/s
Diâmetro	12	mm
Pressão mínima	5	mca
Pressão máxima	60	mca

Tubagens

Ramal de ligação

Canalização entre a rede pública e o limite da propriedade a servir.

Dados para dimensionamento e verificação

Velocidade mínima	0.5	m/s
Velocidade máxima	2	m/s
Incremento do comprimento real	20	%

Simultaneidade

Nível de conforto médio

Ramal de alimentação

Canalização para alimentar os dispositivos de utilização.

Dados para dimensionamento e verificação

Velocidade mínima	0.5	m/s
Velocidade máxima	2	m/s
Incremento do comprimento real	20	%

Simultaneidade

Nível de conforto médio

Catálogo de tubagens

Aço galvanizado

Tubagem de aço galvanizado, série média, segundo a NP EN 10255.

Rugosidade absoluta 0.15

Aço galvanizado

Referência	Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Espessura (mm)
1/2"	15	21.3	2.6
3/4"	20	26.9	2.6
1"	25	33.7	3.2
1 1/4"	32	42.4	3.2
1 1/2"	40	48.3	3.2
2"	50	60.3	3.6
2 1/2"	65	76.1	3.6
3"	80	88.9	4
4"	100	114.3	4.5
5"	125	139.7	5
6"	150	165.1	5

Catálogo de isolamentos térmicos

Isolamento térmico

Isolamento térmico para tubagens

Isolamento térmico

Referência	Diâmetro interior (mm)	Espessura (mm)
Ø22/e30	22	30
Ø22/e40	22	40
Ø28/e30	28	30
Ø28/e40	28	40
Ø28/e50	28	50
Ø35/e30	35	30
Ø35/e40	35	40
Ø35/e50	35	50
Ø48/e30	48	30
Ø48/e40	48	40
Ø48/e50	48	50
Ø60/e30	60	30
Ø60/e40	60	40
Ø60/e50	60	50
Ø60/e60	60	60

Crêterios de cáculo (Rede de águas residuais)

ANEXO VI – ANÁLISE DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS COM O PROGRAMA CYPE

As tubagens horizontais são calculadas com a seguinte expressão:

A verifica o do diâmetro utilizado realiza-se utilizando a fórmula de Manning:

Q	Caudal (m ³ /s)
n	Coefficiente de Manning
A	�rea da tubagem ocupada pelo fluido (m ²)
R _h	Raio hidráulico (m)
i	Inclina�o (m/m)

As tubagens verticais são calculadas com a seguinte formula o:

Residuais

A verifica o do diâmetro utilizado realiza-se utilizando a fórmula de Dawson e Hunter:

Q	Caudal (l/s)
r	Taxa de ocupa�o
D	Diâmetro (mm)

Pontos de liga o   rede pública

Ponto de liga o   rede pública

Ponto de liga o   rede de saneamento unitária

Caixas

Caixa de passagem

Caixa de passagem de alvenaria

Comprimento mínimo

Profundidade (m)	Comprimento (m)
0.25	0.2

Critérios de cálculo (Rede de águas residuais)

0.5	0.4
0.75	0.6
1	0.8
1.001	1
1.25	1
1.5	1
2	1
2.5	1
3	1.25

Descargas

Bacia de retrete

Bacia de retrete

Dados para dimensionamento e verificação

Altura da descarga	0.1	m
Caudal	90	l/min
Diâmetro nominal	90	mm

Chuveiro

Chuveiro

Dados para dimensionamento e verificação

Altura da descarga	0.05	m
Caudal	30	l/min
Diâmetro nominal	40	mm

Lavatório

Lavatório

Dados para dimensionamento e verificação

Altura da descarga	0.55	m
Caudal	30	l/min
Diâmetro nominal	40	mm

Tubagens horizontais

Ramal de descarga individual meia secção

Ramal de descarga individual meia secção

PVC liso

PVC liso

Crêterios de cáculo (Rede de águas residuais)

Dados para dimensionamento e verifica o

Diâmetro nominal mínimo	40	mm
Inclina�o mínima	1	%
Inclina�o máxima	4	%

C culo hidráulico

Velocidade mínima	0.6	m/s
Taxa de ocupa�o máxima	50	%

Ramal de descarga não individual

Ramal de descarga não individual

PVC liso

PVC liso

Dados para dimensionamento e verifica o

Diâmetro nominal mínimo	40	mm
Inclina�o mínima	1	%
Inclina�o máxima	4	%

C culo hidráulico

Velocidade mínima	0.6	m/s
Taxa de ocupa�o máxima	50	%

Colector suspenso

Colector suspenso

PVC liso

PVC liso

Dados para dimensionamento e verifica o

Diâmetro nominal mínimo	100	mm
Inclina�o mínima	1	%
Inclina�o máxima	4	%

C culo hidráulico

Velocidade mínima	0.6	m/s
Taxa de ocupa�o máxima	50	%

Colector enterrado

Colector enterrado

Critérios de cálculo (Rede de águas residuais)

PVC liso SN-4

PVC liso SN-4

Dados para dimensionamento e verificação

Diâmetro nominal mínimo	100	mm
Inclinação mínima	2	%
Inclinação máxima	4	%

Cálculo hidráulico

Velocidade mínima	0.6	m/s
Taxa de ocupação máxima	50	%

Materiais (Rede de águas residuais)

Catálogo de tubagens

PVC liso

Série B (NP EN 1329-1)

Coeficiente de Manning

0.009

PVC liso

Referência	Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Espessura (mm)
Ø32	32	32	3
Ø40	40	40	3
Ø50	50	50	3
Ø75	75	75	3
Ø90	90	90	3.2
Ø110	110	110	3.2
Ø125	125	125	3.2
Ø160	160	160	3.2
Ø200	200	200	3.9
Ø250	250	250	4.9
Ø315	315	315	6.2

PVC liso SN-4

Série SN-4 (NP EN 1401-1)

Coeficiente de Manning

0.009

PVC liso SN-4

Referência	Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Espessura (mm)
Ø110	110	110	3.2
Ø125	125	125	3.2
Ø160	160	160	4
Ø200	200	200	4.9
Ø250	250	250	6.4
Ø315	315	315	7.7
Ø400	400	400	9.8
Ø500	500	500	12.3

Verificações (Rede de águas residuais)

Tubagens horizontais

Referência:

TH3. Ramal de descarga não individual

Descrição:

Comprimento: 0.062 m

Inclinação: 2 %

Caudal: 107.38 l/min

Verificação	Valores	Estado
Dados gerais		
Diâmetro nominal mínimo <i>Diâmetro mínimo seleccionado para o dimensionamento da tubagem</i>	Mínimo: 40 mm Calculado: 110 mm	Verifica
Inclinação <i>Pendente mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i> <i>Pendente máxima admissível</i>	Mínimo: 1.00 % Calculado: 2.00 % Máximo: 4.00 %	Verifica
Continuidade		
Diâmetro nominal mínimo	Mínimo: 90 mm Calculado: 110 mm	Verifica
Cálculo hidráulico		
Capacidade hidráulica <i>Caudal a secção cheia para o diâmetro seleccionado</i>	Calculado: 107.38 l/min Máximo: 695.72 l/min	Verifica
Velocidade <i>Velocidade mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i>	Mínimo: 0.6 m/s Calculado: 1 m/s	Verifica
Taxa de ocupação <i>Os ramais de descarga não individuais devem ser sempre dimensionados para escoamento a meia secção (ponto 4 do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i>	Calculado: 26.5564% Máximo: 50%	Verifica
Cumprem-se todas as verificações		

Referência:

6. Ramal de descarga individual meia secção

Descrição:

Comprimento: 1.142 m

Inclinação: 1.5 %

Caudal: 30 l/min

Verificação	Valores	Estado
Dados gerais		
Diâmetro nominal mínimo <i>Os diâmetros nominais mínimos admitidos para os ramais de descarga individuais dos aparelhos sanitários são os fixados no anexo XIV (ponto 1 do Artigo 215.º do RGSPDADAR).</i>	Mínimo: 40 mm Calculado: 50 mm	Verifica

Verificações (Rede de águas residuais)

Verificação	Valores	Estado
Inclinação <i>As inclinações devem situar-se entre 10 e 40 mm/m (ponto 1 b do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i> <i>As inclinações devem situar-se entre 10 e 40 mm/m (ponto 1 b do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i>	Mínimo: 1.00 % Calculado: 1.50 % Máximo: 4.00 %	Verifica
Continuidade		
Diâmetro nominal mínimo	Mínimo: 50 mm Calculado: 50 mm	Verifica
Cálculo hidráulico		
Capacidade hidráulica <i>Caudal a secção cheia para o diâmetro seleccionado</i>	Calculado: 30 l/min Máximo: 61.41 l/min	Verifica
Velocidade <i>Velocidade mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i>	Mínimo: 0.6 m/s Calculado: 0.67 m/s	Verifica
Taxa de ocupação <i>Os ramaís de descarga individuais podem ser dimensionados para escoamento a secção cheia, desde que sejam respeitadas as distâncias máximas entre o sifão e a secção ventilada indicadas no anexo XVI (ponto 2 do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i>	Calculado: 49.3243% Máximo: 50%	Verifica
Cumrem-se todas as verificações		

Referência:

TH3. Ramal de descarga não individual

Descrição:

Comprimento: 0.354 m

Inclinação: 1 %

Caudal: 107.38 l/min

Verificação	Valores	Estado
Dados gerais		
Diâmetro nominal mínimo <i>Diâmetro mínimo seleccionado para o dimensionamento da tubagem</i>	Mínimo: 40 mm Calculado: 90 mm	Verifica
Inclinação <i>Pendente mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i> <i>Pendente máxima admissível</i>	Mínimo: 1.00 % Calculado: 1.00 % Máximo: 4.00 %	Verifica
Continuidade		
Diâmetro nominal mínimo	Mínimo: 90 mm Calculado: 90 mm	Verifica
Cálculo hidráulico		
Capacidade hidráulica <i>Caudal a secção cheia para o diâmetro seleccionado</i>	Calculado: 107.38 l/min Máximo: 277.66 l/min	Verifica
Velocidade <i>Velocidade mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i>	Mínimo: 0.6 m/s Calculado: 0.79 m/s	Verifica

Verificações (Rede de águas residuais)

Verificação	Valores	Estado
Taxa de ocupação <i>Os ramais de descarga não individuais devem ser sempre dimensionados para escoamento a meia secção (ponto 4 do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i>	Calculado: 43.1607% Máximo: 50%	Verifica
Cumprem-se todas as verificações		

Referência:

TH3. Ramal de descarga não individual

Descrição:

Comprimento: 0.681 m

Inclinação: 1 %

Caudal: 107.38 l/min

Verificação	Valores	Estado
Dados gerais		
Diâmetro nominal mínimo <i>Diâmetro mínimo seleccionado para o dimensionamento da tubagem</i>	Mínimo: 40 mm Calculado: 90 mm	Verifica
Inclinação <i>Pendente mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i> <i>Pendente máxima admissível</i>	Mínimo: 1.00 % Calculado: 1.00 % Máximo: 4.00 %	Verifica
Continuidade		
Diâmetro nominal mínimo	Mínimo: 90 mm Calculado: 90 mm	Verifica
Cálculo hidráulico		
Capacidade hidráulica <i>Caudal a secção cheia para o diâmetro seleccionado</i>	Calculado: 107.38 l/min Máximo: 277.66 l/min	Verifica
Velocidade <i>Velocidade mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i>	Mínimo: 0.6 m/s Calculado: 0.79 m/s	Verifica
Taxa de ocupação <i>Os ramais de descarga não individuais devem ser sempre dimensionados para escoamento a meia secção (ponto 4 do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i>	Calculado: 43.1607% Máximo: 50%	Verifica
Cumprem-se todas as verificações		

Referência:

TH5. Ramal de descarga não individual

Descrição:

Comprimento: 0.009 m

Inclinação: 1 %

Caudal: 120 l/min

Verificação	Valores	Estado
Dados gerais		
Diâmetro nominal mínimo <i>Diâmetro mínimo seleccionado para o dimensionamento da tubagem</i>	Mínimo: 40 mm Calculado: 90 mm	Verifica

Verificações (Rede de águas residuais)

Verificação	Valores	Estado
Inclinação <i>Pendente mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i> <i>Pendente máxima admissível</i>	Mínimo: 1.00 % Calculado: 1.00 % Máximo: 4.00 %	Verifica
Continuidade		
Diâmetro nominal mínimo	Mínimo: 90 mm Calculado: 90 mm	Verifica
Cálculo hidráulico		
Capacidade hidráulica <i>Caudal a secção cheia para o diâmetro seleccionado</i>	Calculado: 120 l/min Máximo: 277.66 l/min	Verifica
Velocidade <i>Velocidade mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i>	Mínimo: 0.6 m/s Calculado: 0.81 m/s	Verifica
Taxa de ocupação <i>Os ramais de descarga não individuais devem ser sempre dimensionados para escoamento a meia secção (ponto 4 do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i>	Calculado: 45.9531% Máximo: 50%	Verifica
Cumprem-se todas as verificações		

Referência:

TH3. Ramal de descarga não individual

Descrição:

Comprimento: 0.117 m

Inclinação: 1 %

Caudal: 107.38 l/min

Verificação	Valores	Estado
Dados gerais		
Diâmetro nominal mínimo <i>Diâmetro mínimo seleccionado para o dimensionamento da tubagem</i>	Mínimo: 40 mm Calculado: 90 mm	Verifica
Inclinação <i>Pendente mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i> <i>Pendente máxima admissível</i>	Mínimo: 1.00 % Calculado: 1.00 % Máximo: 4.00 %	Verifica
Continuidade		
Diâmetro nominal mínimo	Mínimo: 90 mm Calculado: 90 mm	Verifica
Cálculo hidráulico		
Capacidade hidráulica <i>Caudal a secção cheia para o diâmetro seleccionado</i>	Calculado: 107.38 l/min Máximo: 277.66 l/min	Verifica
Velocidade <i>Velocidade mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i>	Mínimo: 0.6 m/s Calculado: 0.79 m/s	Verifica
Taxa de ocupação <i>Os ramais de descarga não individuais devem ser sempre dimensionados para escoamento a meia secção (ponto 4 do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i>	Calculado: 43.1607% Máximo: 50%	Verifica

Verificações (Rede de águas residuais)

Verificação	Valores	Estado
Cumprem-se todas as verificações		

Referência:

4 (Ch). Ramal de descarga individual meia secção

Descrição:

Comprimento: 0.509 m

Inclinação: 1.5 %

Caudal: 30 l/min

Verificação	Valores	Estado
Dados gerais		
Diâmetro nominal mínimo <i>Os diâmetros nominais mínimos admitidos para os ramais de descarga individuais dos aparelhos sanitários são os fixados no anexo XIV (ponto 1 do Artigo 215.º do RGSPDADAR).</i>	Mínimo: 40 mm Calculado: 50 mm	Verifica
Inclinação <i>As inclinações devem situar-se entre 10 e 40 mm/m (ponto 1 b do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i> <i>As inclinações devem situar-se entre 10 e 40 mm/m (ponto 1 b do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i>	Mínimo: 1.00 % Calculado: 1.50 % Máximo: 4.00 %	Verifica
Descarga		
Diâmetro nominal mínimo	Mínimo: 40 mm Calculado: 50 mm	Verifica
Cálculo hidráulico		
Capacidade hidráulica <i>Caudal a secção cheia para o diâmetro seleccionado</i>	Calculado: 30 l/min Máximo: 61.41 l/min	Verifica
Velocidade <i>Velocidade mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i>	Mínimo: 0.6 m/s Calculado: 0.67 m/s	Verifica
Taxa de ocupação <i>Os ramais de descarga individuais podem ser dimensionados para escoamento a secção cheia, desde que sejam respeitadas as distâncias máximas entre o sifão e a secção ventilada indicadas no anexo XVI (ponto 2 do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i>	Calculado: 49.3243% Máximo: 50%	Verifica
Cumprem-se todas as verificações		

Referência:

6 (Lv). Ramal de descarga individual meia secção

Descrição:

Comprimento: 0.18 m

Inclinação: 1.5 %

Caudal: 30 l/min

Verificações (Rede de águas residuais)

Verificação	Valores	Estado
Dados gerais		
Diâmetro nominal mínimo <i>Os diâmetros nominais mínimos admitidos para os ramais de descarga individuais dos aparelhos sanitários são os fixados no anexo XIV (ponto 1 do Artigo 215.º do RGSPDADAR).</i>	Mínimo: 40 mm Calculado: 50 mm	Verifica
Inclinação <i>As inclinações devem situar-se entre 10 e 40 mm/m (ponto 1 b do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i> <i>As inclinações devem situar-se entre 10 e 40 mm/m (ponto 1 b do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i>	Mínimo: 1.00 % Calculado: 1.50 % Máximo: 4.00 %	Verifica
Descarga		
Diâmetro nominal mínimo	Mínimo: 40 mm Calculado: 50 mm	Verifica
Cálculo hidráulico		
Capacidade hidráulica <i>Caudal a secção cheia para o diâmetro seleccionado</i>	Calculado: 30 l/min Máximo: 61.41 l/min	Verifica
Velocidade <i>Velocidade mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i>	Mínimo: 0.6 m/s Calculado: 0.67 m/s	Verifica
Taxa de ocupação <i>Os ramais de descarga individuais podem ser dimensionados para escoamento a secção cheia, desde que sejam respeitadas as distâncias máximas entre o sifão e a secção ventilada indicadas no anexo XVI (ponto 2 do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i>	Calculado: 49.3243% Máximo: 50%	Verifica
Cumprem-se todas as verificações		

Referência:

6. Ramal de descarga individual meia secção

Descrição:

Comprimento: 0.018 m
Inclinação: 1.5 %
Caudal: 30 l/min

Verificação	Valores	Estado
Dados gerais		
Diâmetro nominal mínimo <i>Os diâmetros nominais mínimos admitidos para os ramais de descarga individuais dos aparelhos sanitários são os fixados no anexo XIV (ponto 1 do Artigo 215.º do RGSPDADAR).</i>	Mínimo: 40 mm Calculado: 50 mm	Verifica
Inclinação <i>As inclinações devem situar-se entre 10 e 40 mm/m (ponto 1 b do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i> <i>As inclinações devem situar-se entre 10 e 40 mm/m (ponto 1 b do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i>	Mínimo: 1.00 % Calculado: 1.50 % Máximo: 4.00 %	Verifica
Continuidade		
Diâmetro nominal mínimo	Mínimo: 50 mm Calculado: 50 mm	Verifica

Verificações (Rede de águas residuais)

Verificação	Valores	Estado
Cálculo hidráulico		
Capacidade hidráulica <i>Caudal a secção cheia para o diâmetro seleccionado</i>	Calculado: 30 l/min Máximo: 61.41 l/min	Verifica
Velocidade <i>Velocidade mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i>	Mínimo: 0.6 m/s Calculado: 0.67 m/s	Verifica
Taxa de ocupação <i>Os ramais de descarga individuais podem ser dimensionados para escoamento a secção cheia, desde que sejam respeitadas as distâncias máximas entre o sifão e a secção ventilada indicadas no anexo XVI (ponto 2 do Artigo 214.º do RGSPDADAR).</i>	Calculado: 49.3243% Máximo: 50%	Verifica
Cumprem-se todas as verificações		

Referência:

2. Colector suspenso

Descrição:

Comprimento: 1.54 m

Inclinação: 1 %

Caudal: 155.61 l/min

Verificação	Valores	Estado
Dados gerais		
Diâmetro nominal mínimo <i>O diâmetro nominal dos colectores prediais não pode ser inferior ao maior dos diâmetros das canalizações a eles ligados, com um mínimo de 100 mm (Artigo 247.º do RGSPDADAR).</i>	Mínimo: 100 mm Calculado: 110 mm	Verifica
Inclinação <i>As inclinações devem situar-se entre 10 e 40 mm/m (ponto 1 b do Artigo 246.º do RGSPDADAR).</i> <i>As inclinações devem situar-se entre 10 e 40 mm/m (ponto 1 b do Artigo 246.º do RGSPDADAR).</i>	Mínimo: 1.00 % Calculado: 1.00 % Máximo: 4.00 %	Verifica
Continuidade		
Diâmetro nominal mínimo	Mínimo: 110 mm Calculado: 110 mm	Verifica
Cálculo hidráulico		
Capacidade hidráulica <i>Caudal a secção cheia para o diâmetro seleccionado</i>	Calculado: 155.61 l/min Máximo: 491.95 l/min	Verifica
Velocidade <i>Velocidade mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i>	Mínimo: 0.6 m/s Calculado: 0.86 m/s	Verifica
Taxa de ocupação <i>Os colectores prediais de águas residuais domésticas e pluviais devem ser dimensionados para um escoamento não superior a meia secção e a secção cheia, respectivamente (ponto 2 do Artigo 246.º do RGSPDADAR).</i>	Calculado: 38.6444% Máximo: 50%	Verifica
Cumprem-se todas as verificações		

Verificações (Rede de águas residuais)

Referência:

1. Colector enterrado

Descrição:

Comprimento: 1.347 m

Inclinação: 2 %

Caudal: 155.61 l/min

Verificação	Valores	Estado
Dados gerais		
Diâmetro nominal mínimo <i>O diâmetro nominal dos colectores prediais não pode ser inferior ao maior dos diâmetros das canalizações a eles ligados, com um mínimo de 100 mm (Artigo 247.º do RGSPDADAR).</i>	Mínimo: 100 mm Calculado: 110 mm	Verifica
Inclinação <i>As inclinações devem situar-se entre 10 e 40 mm/m (ponto 1 b do Artigo 246.º do RGSPDADAR).</i> <i>As inclinações devem situar-se entre 10 e 40 mm/m (ponto 1 b do Artigo 246.º do RGSPDADAR).</i>	Mínimo: 2.00 % Calculado: 2.00 % Máximo: 4.00 %	Verifica
Continuidade		
Diâmetro nominal mínimo	Mínimo: 110 mm Calculado: 110 mm	Verifica
Cálculo hidráulico		
Capacidade hidráulica <i>Caudal a secção cheia para o diâmetro seleccionado</i>	Calculado: 155.61 l/min Máximo: 695.72 l/min	Verifica
Velocidade <i>Velocidade mínima seleccionada para garantir condições de autolimpeza da tubagem</i>	Mínimo: 0.6 m/s Calculado: 1.11 m/s	Verifica
Taxa de ocupação <i>Os colectores prediais de águas residuais domésticas e pluviais devem ser dimensionados para um escoamento não superior a meia secção e a secção cheia, respectivamente (ponto 2 do Artigo 246.º do RGSPDADAR).</i>	Calculado: 32.1434% Máximo: 50%	Verifica
Cumprem-se todas as verificações		

PL1**Paredes piso 1****Ramal de descarga individual meia secção**

Tubagens horizontais													
Tramo	L (m)	i (%)	Q (l/min)	UDs	S (m ²)	D _{min} (mm)	Cálculo hidráulico					D _{int} (mm)	D _{com} (mm)
							Q _b (l/min)	K	Q _c (l/min)	Y/D (%)	v (m/s)		
4 (Ch)	0.509	1.50	-	-	-	40	30	1.00	30	49.32	0.67	44	50
6	1.159	1.50	-	-	-	50	30	1.00	30	49.32	0.67	44	50
6 (Lv)	0.18	1.50	-	-	-	40	30	1.00	30	49.32	0.67	44	50

Ramal de descarga não individual

Tubagens horizontais													
Tramo	L (m)	i (%)	Q (l/min)	UDs	S (m ²)	D _{min} (mm)	Cálculo hidráulico					D _{int} (mm)	D _{com} (mm)
							Q _b (l/min)	K	Q _c (l/min)	Y/D (%)	v (m/s)		
TH3	1.213	2.00	-	-	-	90	150	0.72	107.38	26.56	1	104	110

Colector suspenso

Tubagens horizontais													
Tramo	L (m)	i (%)	Q (l/min)	UDs	S (m ²)	D _{min} (mm)	Cálculo hidráulico					D _{int} (mm)	D _{com} (mm)
							Q _b (l/min)	K	Q _c (l/min)	Y/D (%)	v (m/s)		
2	1.54	1.00	-	-	-	110	300	0.52	155.61	38.64	0.86	104	110

Colector enterrado

Tubagens horizontais													
Tramo	L (m)	i (%)	Q (l/min)	UDs	S (m ²)	D _{min} (mm)	Cálculo hidráulico					D _{int} (mm)	D _{com} (mm)
							Q _b (l/min)	K	Q _c (l/min)	Y/D (%)	v (m/s)		
1	1.347	2.00	-	-	-	110	300	0.52	155.61	32.14	1.11	104	110

Abreviaturas utilizadas

Ref.	Referência em desenhos	K	Coefficiente de simultaneidade
D _{min}	Diâmetro mínimo (mm)	Q _c	Caudal com simultaneidade (l/min)
D _{com}	Diâmetro comercial (mm)	UDs	Unidades de descarga
D _{int}	Diâmetro interior comercial (mm)	S	Área projectada (m ²)
L	Comprimento medido nos desenhos (m)	Y/D	Taxa de ocupação (%)
i	Inclinação (%)	v	Velocidade (m/s)
Q _b	Caudal bruto (l/min)		