



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

MHM-PUUELEMENTTIEN KÄYTTÖ KERROSTALO- KOHTEESSA

TEKIJÄ: Eemeli Kervinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Eemeli Kervinen	
Työn nimi MHM -puuelementtien käyttö kerrostalokohteessa	
Päiväys 2.4.2019	Sivumäärä/Liitteet 40/5
Ohjaaja(t) Rakennetekniikan yliopettaia, Tkt Arto Puurula ja lehtori, DI Matti Mikkonen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Insinööritoimisto Tanskanen Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön idea saatiin kesällä 2018 toimeksiantajalta työharjoittelun aikana. Opinnäytetyön tavoitteena oli esitellä vielä melko tuntematonta MHM – Massiv Holz Mauer -rakenneratkaisua ja kertoa sen rakenteesta, ominaisuuksista sekä käyttömahdollisuuksista. Lisäksi tavoitteena oli, että toimeksiantaja voisi parantaa osaamistaan sekä tulevaisuuden projekteissa, että tällä hetkellä meneillään olevassa tutkimus- ja kehitysprojektissaan saamansa tiedon avulla.</p> <p>Osana tätä opinnäytetyötä tehtiin kaksi kyselyä, joista ensimmäinen oli opinnäytetyön toimeksiantajalle ja hallituksen puheenjohtajalle Jouko Tanskaselle ja toinen oli Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH:n toimitusjohtajalle Rainer Königille Saksaan. Kyselyiden lisäksi tietoa kerättiin puheluiden, kirjojen sekä internetin välityksellä. Suurin osa tiedoista löytyi tuotteen omilta nettisivuilta, mutta myös muita nettilähteitä käytettiin. Liitteeksi lisättiin paloluokitussraportteja, suunnitteluesimerkkejä sekä laadittiin suomenkieliset mitoitusyökalun ohjeet. Työssä pyrittiin keskittymään vain MHM-järjestelmään ja rajaamaan muut rakennejärjestelmät pois.</p> <p>Tuloksena saatiin laaja suomenkielinen kokonaisuus MHM-massiivipuorakenteesta. Insinöörityötä voidaan jatkossa hyödyntää tulevissa projekteissa suunnittelussa, sillä työ sisältää teoriaa ja tarkentavia detaljikuvia rakenneratkaisuista. Itse mitoittamista tai mitoitusohjeita työssä ei ole, mutta nettipolku mitoitusyökaluihin kerrotaan. Päätelmänä MHM-järjestelmä on varteenotettava puurakentamisen vaihtoehto, joka ei ole vielä kovin tunnettu taikka käytetty Suomessa.</p>	
Avainsanat Massiv Holz Mauer, MHM, massiivipuuelementti, puurakentaminen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author(s) Eemeli Kervinen			
Title of Thesis Use of MHM prefabricated wood elements in an apartment house project			
Date	April 2, 2019	Pages/Appendices	40/5
Supervisor(s) Mr Arto Puurula, PhD, Principal Lecturer and Mr Matti Mikkonen, MSc, Senior Lecturer			
Client Organisation/Partners Insinööritoimisto Tanskanen Oy			
<p>Abstract</p> <p>The object of this final project was to introduce the MHM-solid wood element system and to tell about its structure, properties and applications. In addition, it was attempted to provide new information to the client organisation and thus to improve their expertise in potential future projects, as well as in the ongoing research and development project.</p> <p>As part of this project, two surveys to collect data were carried out. The first one was made for Jouko Tanskanen from the client organisation and the second one for Rainer König, CEO of Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH in Germany. In addition to the surveys, information was collected and searched for by phone calls, literature and on the internet. Most of the information was found on the website of the product, but other online sources were also used. Fire classification reports, design examples and a manual for the structural calculation of MHM-components in Finnish were added as appendices. The aim was to focus on the MHM-system and to leave out other structural systems.</p> <p>The final result was an extensive information package on the MHM-solid wood element system in Finnish. In the future, this project can be utilized in planning as the thesis includes theory and details of structural solutions. The project does not include calculations or instructions for dimensioning but the path to MHM-design software was described. In conclusion, the MHM-system is a potential choice to wood construction but currently it still plays a minor role in Finland.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Massiv Holz Mauer, MHM, solid wood element, timber construction</p>			

ALKUSANAT

Kiitän Insinööritoimisto Tanskanen Oy:tä sekä eritoten hallituksen puheenjohtajaa Jouko Tanskasta opinnäytetyön aiheen antamisesta sekä mahdollisuudesta tehdä insinöörityö MHM-puuelementeistä heille. Insinöörityötä varten tehtiin kaksi kyselyä tiedonkeruuta varten, joista ensimmäinen oli juuri Tanskaselle ja toinen Saksaan MHM-tuotteen toimitusjohtajalle Rainer Königille ja kiitokset molemmille kyselyiden vastauksista.

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Työn rajaus.....	6
1.2	Mikä on puukerrostalo?	7
2	MHM – MASSIV HOLZ MAUER.....	8
2.1	Rakenne	8
2.2	Ominaisuudet.....	11
2.2.1	Rakenteellinen lujuus	11
2.2.2	Ekologisuus ja hyödyt.....	12
2.2.3	Palo-ominaisuudet	14
2.2.4	Akustiikka ja ääneneristys.....	16
2.2.5	Kosteus- ja lämpötekniset ominaisuudet	20
2.2.6	Seisminen käyttäytyminen	23
2.3	Valmistus.....	23
2.3.1	Koneellisesti	23
2.3.2	Käsin	26
2.4	Käyttökohteet.....	27
2.5	Suunnittelu ja mitoitus	28
2.5.1	Lähtötiedot.....	28
2.5.2	Suunnittelu-esimerkit	30
2.5.3	Staattinen kuormituskyky	30
2.5.4	Jäykistys ja ankkurointi	31
2.5.5	Muuta huomioitavaa.....	32
2.6	MHM ja CLT vertailua.....	33
3	AS OY NURMIJÄRVEN HERTTUATAR	35
4	HAASTEET JA RATKAISUT	37
5	YHTEENVETO.....	38
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	39
	LIITE 1: LUOKITUSRAPORTTI PALONTORJUNTA	41
	LIITE 2: EUROPEAN TECHNICAL ASSESSMENT	51
	LIITE 3: YLEISIMMÄT SEINÄRAKENTEET	65
	LIITE 4: SUUNNITTELU-ESIMERKIT	67
	LIITE 5: MITOITUSTYÖKALUN OHJEET.....	100

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on MHM-puuelementtien käyttö kerrostalokohteessa. Tarkoitus on käsitellä MHM-elementtien ominaisuuksia, valmistustapaa, käyttökohteita sekä kertoa yleisesti muun muassa hyödyistä ja haasteista. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Insinööritoimisto Tanskanen Oy. Opinnäytetyön aihe syntyi kesällä 2018, kun työskentelin samaisessa yrityksessä tutkimus- ja kehitystyön parissa. Tutkimustyö liittyi MHM-puuelementtikerrostaloon Klaukkalaan, jossa yritys toimi elementtisuunnittelijana. Opinnäytetyön tarkoitus on antaa yritykselle tietopaketti, jota he voivat hyödyntää markkinoidessaan osaamistaan MHM-puuelementtien parissa ja hyödyntää siten osaamistaan tulevissa projekteissa. Puukerrostaloilla on suuri suosio Euroopassa, varsinkin Keski-Euroopassa ja myös Suomessa halutaan päästä tähän kehitykseen mukaan. Suomen olosuhteet ovat kuitenkin erilaiset kuin muualla Euroopassa ja tämä asettaa haasteen. Puujulkisivuelementtejä on käytetty kerrostalorakentamisessa ja ongelmia on ollut erityisesti asennettavuudessa, tiiviydessä ja kosteudenhallinnassa. (Vainonen 2018.)

MHM-puuelementit ovat melko tuntematon rakenneratkaisu suurimmalle osalle ja suurin osa työstä keskittyy rakenneratkaisun esilletuontiin ja käsitelläänkin mitä on MHM, mikä on sen rakenne ja mitä ominaisuuksia sillä on. Työssä kerrotaan myös MHM:n valmistuksesta sekä sen käyttökohteista. Kolmannessa luvussa käsitellään esimerkikohdetta, joka on Insinööritoimisto Tanskanen Oy:n elementtisuunnitteluun pohjautuva kerrostalo As Oy Nurmijärven Herttuatar Klaukkalaan. Tässä projektikohteessa ulkoseinät ovat tehty MHM-puuelementeistä. Neljännessä luvussa kerrotaan haasteista, ongelmista sekä niiden mahdollisista ratkaisuista. Kaikkiin haasteisiin ei ole vielä selvää vastausta ja ne jäävätkin niin sanotuiksi avoimiksi kysymyksiksi. Viimeisenä pohditaan opinnäytetyön onnistumisia ja tuloksia.

1.1 Työn rajaus

Tässä opinnäytetyössä keskitytään MHM-puuelementin käyttöön massiiviseinärakenteissa uudisrakentamisessa sekä rakennusmateriaalin ja -menetelmän esittelyyn suunnittelun näkökulmasta eikä tuotantoon taikka asentamiseen puututa. Korjausrakentamiseen ei oteta kantaa, sillä korjauskohteet ovat aina yksilöllisiä. Opinnäytetyö antaa kuitenkin tietoa korjauskohteiden eri sovelluksiin. Myöskään varsinaista mitoittamista ei tulla tässä opinnäytetyössä käsittelemään laskemisen muodossa, mutta siitä kerrotaan. Työn rajaus on nimenomaan MHM-puuelementeissä ja vastaavaan CLT-massiivipuuelementtiä käytetäänkin vain vertailukohteena, mutta siitä ei itsessään kerrota.

1.2 Mikä on puukerrostalo?

Suomalainen puukerrostalo -kirjassa (2013, 10) määritellään puukerrostalo seuraavasti:

Puukerrostaloksi sanotaan taloa, joka on vähintään kaksikerroksinen, jonka kerrokset ovat tavallisesti eri huoneistoja ja jossa kantavat runkorakenteet ovat pääosin puuta. Puukerrostalot voivat olla puujulkisivuisia tai myös muilla julkisivumateriaaleilla verhottuja. Puuta voidaan käyttää tietyin edellytyksin myös asuntojen sisäpinnoissa eli lattiassa, seinissä ja katossa. Puukerrostalojen asunosuunnittelua koskevat samat rakentamismääräykset kuin muitakin kerrostaloasuntoja. Puukerrostalojen tilat, tekniset laitteet, lämmitys, viemärointi, ilmanvaihto sekä vesi- ja sähkölaitteet toimivat samalla tavoin kuin muissakin taloissa. Puukerrostalossa myös asutaan kuten muissakin kerrostaloissa. Puukerrosatalorakentamisessa voidaan käyttää erilaisia rakentamistapoja ja runkojärjestelmiä, joista valitaan kuhunkin tapaukseen paras ratkaisu. Yhteistä useimmille niistä on pitkälle viety teollinen esivalmistus ja rakentaminen säältä suojassa. Teolliseen puurakentamiseen on kehitetty myös *Avoin puuelementtirakentamisen teollisuusstandardi* eli *RunkoPES*, jonka mukaan suunniteltuna eri järjestelmät ovat keskenään yhteensopivia ja niitä voidaan kilpailuttaa keskenään.

2 MHM – MASSIV HOLZ MAUER

Opinnäytetyön tiedonhankinnassa muun muassa tuotteen ominaisuuksia koskien tehtiin kaksi kyselyä, joista toinen oli opinnäytetyön aiheen toimeksiantajalle ja hallituksen puheenjohtajalle Jouko Tanskaselle ja toinen Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH:n toimitusjohtajalle Rainer Königille. Heidän vastauksiaan on hyödynnetty tekstissä.

Saksassa 1990-luvun lopulla kehitelty ja vuonna 2005 patentoitu Massiv-Holz-Mauer eli MHM on puuteollisuuden tuote, joka tekee massiivipuuelementtien valmistamisen mahdolliseksi täysin ilman muovia tai liimaa. MHM-tuotteen kehittäjä konetekniikan yrittäjä Hans Hundegger. Hänen perustamansa yritys – Hans Hundegger AG – on valmistanut työstökoneita puutavaran jalostukseen ja puusepänteollisuuden yrityksiin jo vuodesta 1978. MHM-kumppaniverkosta ja sen organisaatiota valvoo MHM Entwicklungs GmbH. MHM-elementti on ristikkäin mekaanisesti liitettyjen puulautojen massiiviseinäelementti, jota voidaan käyttää kantavana tai ei kantavana rakenteena. Ensimmäinen MHM-talo rakennettiin syyskuussa 2002 ja nykyään niitä on yli 5000 kappaletta ympäri Eurooppaa. (MHM Ecological and individual building with massiv-holz-mauer and profiled timber elements 2018, 5.) MHM-rakennuksia ei ole vielä rakennettu Aasiaan, mutta tiedusteluita on ollut asiakkailta, jotka haluavat maahantuoda MHM:ää. Tiedusteluita on myös ollut Yhdysvalloista ja Kanadasta. Vuonna 2018 yksi MHM-rakennus rakennettiin Yhdysvaltoihin. (König 2019-02-26.) Suomessa Rakennusvarma Wood Oy:llä on lisenssi MHM:n käyttämiseen ja tuottamiseen omissa tuotantolaitoksissaan Loviisassa ja Kemissä. (Rakennusvarma Varma luonnonpuu s.a.) Ulkomaiden lähin tuotantotehdas löytyy Virosta. Yksinkertainen rakenne kolmella eri rakennusmateriaalilla – sisäverhous, MHM ja julkisivu – sekä liimattomuus on tärkeää muille maille. Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH:n toimitusjohtaja Rainer König ei vertaile MHM-rakennetta rankarunkoon, CLT-järjestelmään tai muihin puurakennejärjestelmiin. Hän vertailee MHM-rakentamista tiilirakentamiseen. Hänen mukaansa se on tiilirakentamisen vaihtoehtoinen ratkaisu. (König 2019-02-26.)

2.1 Rakenne

MHM-puuelementit valmistetaan käsittelemättömästä puusta, jossa ristiin ladotut lautakerrokset naulataan yhteen kierrätetyillä alumiininauloilla. Rakenne on siis kemikaalivapaata sekä puhdasta, sillä liimaa eikä muoveja käytetä. Myöskään erillistä höyrynsulkua ei tarvita puun ominaisuuksien vuoksi. (Rakennusvarma Varma luonnonpuu s.a, b.) Puuelementti muodostuu urahöylätyistä ristikkäin ladotuista lautakerroksista, joissa laudan leveys voi vaihdella 140 mm:sta 260 mm:iin (European Technical Assessment ETA-15/0760 2018, 14). Toisaalta Helamo toteaa MHM-infoa esityksessään (2018), että laudan leveys voi vaihdella 95 mm:sta 250 mm:iin. Laudan leveyden ei kuitenkaan kannata olla 95 mm, sillä se on epätaloudellista suuren naulamäärän vuoksi (Helamo 2019-01-11). Königin mukaan tämä riippuu siitä, mitkä voimat vaikuttavat MHM-seinään. Mikäli on vain pystysuuntaisia kuormia, niin vähintään 95 mm leveät laudat ovat hyväksyttäviä, mutta seinää ei voida CE-merkittä MHM-seinäksi, sillä ETA-15/0760 (2018, 14) -arviossa lukee laudan vähimmäisleveydenä 140 mm. Kuormitustapauksessa, jossa on pysty- ja vaakasuuntaista kuormaa valmistajan pitäisi käyttää vähintään 140 mm leveää lautaa. Arvot ETA-15/0760 (2018) -arviossa staattisten kuormien

osalta on testattu juuri 140 mm:n ja 260 mm:n välillä. Uusia mahdollisuuksia on kehitteillä. (König 2019-02-26.) Laudan paksuus on 23 ± 2 mm ja ne voidaan varustaa kynteliitoksella (ETA-15/0760 2018, 2, 14). Malli kynteliitoksesta näkyy kuvassa 1. Laudat puristetaan ja kiinnitetään yhteen kierätetyillä sekä rihlatuilla alumiininauloilla, jotka ovat ETA-13/0801 hyväksynnän mukaisia (Rakennusvarma Varma luonnonpuu s.a, c). Naulojen koko on 2,5 x 50 mm. Reunaetäisyys naulattujen lautojen välillä on 30 ± 5 mm lukuun ottamatta ensimmäisen ja toisen lautakerroksen välistä naulausta, jossa on vakio naulauskuvio. (ETA-15/0760 2018, 2–3.) Alumiininauloja käytetään, sillä ne mahdollistavat CNC-työtöt toisin kuin rautanaulat (Helamo 2018). Lautojen pintamuotoiluun käytetään pieniä pituussuuntaisia uria toisella puolella lautta, joka luo seinäelementtiin ilmarakoja. Ilmarat parantavat seinäelementin eristystä ja urien maksimisyvyys on 3 mm. (ETA-15/0760 2018, 3.) Kuvassa 2 näkyy seinäelementin rakenne ja lautojen pintamuotoilu pienillä urilla. ETA-15/0760 (2018, 14) -arvion mukaan laudan leveyden ja paksuuden suhteen tulee olla suurempi tai yhtä suuri kuin neljän suhde yhteen.



Kuva 1. Kynteliitoksen periaate (Puuproffa.fi)



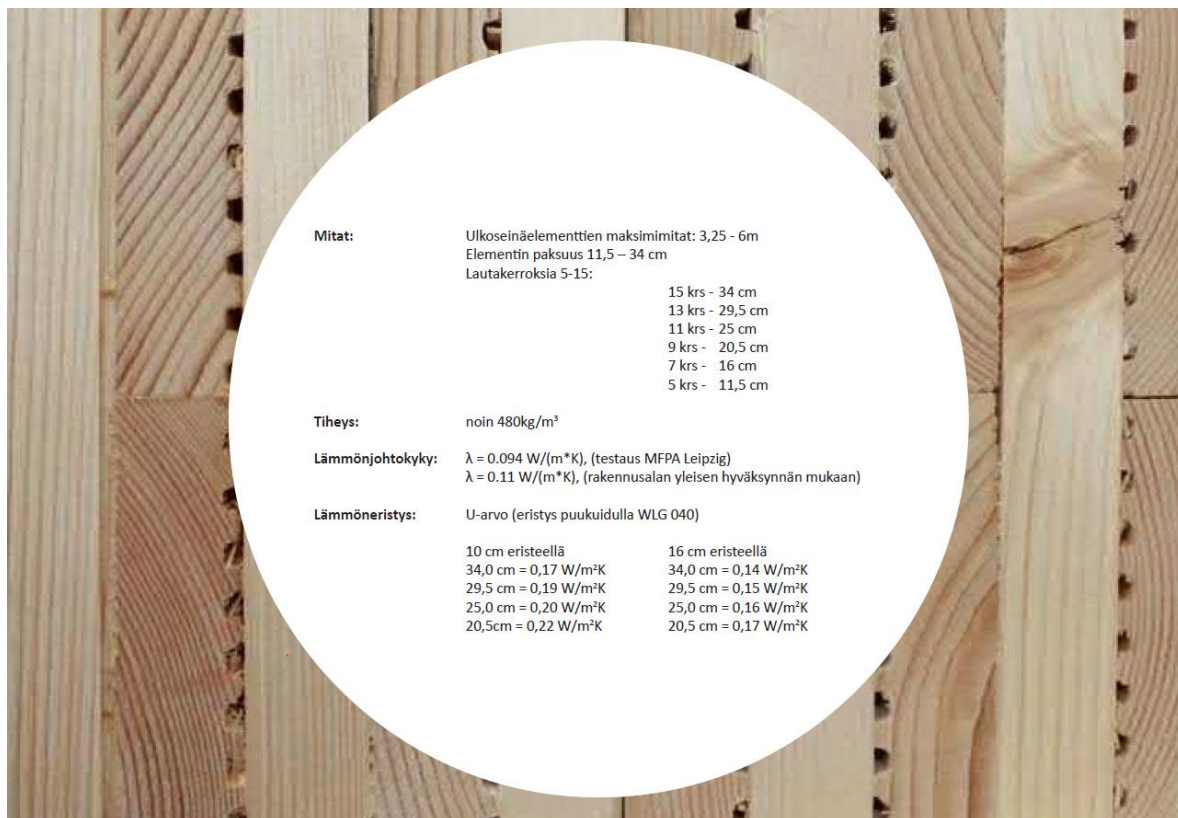
Kuva 2. MHM-seinäelementin rakenne ja lautojen pintamuotoilu (Trakronor.fi)

Haluttu seinäpaksuus saadaan muuntelemalla lautakerrosten lukumäärää. Kerrosten lukumäärä on 5–15 kappaletta (MHM Planning Manual 2014, 8) eli kaikki rakennepaksuudet tuotetaan lautakerrosten parittomalla lukumäärällä. Tällöin seinäelementin ulko- ja sisäkerroksen laudat kulkevat samoin päin eli pystysuoraan (Rakennusvarma Varma luonnonpuu s.a, d). U-arvon saavuttamiseksi ilman lämmöneristystä voidaan kuitenkin käyttää useampaakin lautakerrosta (König 2019-02-26). Yksittäisten lautakerrosten paksuudet ja suunnat ovat symmetrisesti koottu. Mikäli symmetriassa on suuria poikkeamia, mahdolliset vaikutukset pitää tutkia. MHM-elementin seinäpaksuus voi olla 115–345 mm. (ETA-15/0760 2018, 2; 14.) Ulkoseinäelementin yleinen paksuus on 200–250 mm (MHM Ecological and individual 2018, 21). Tämä on mahdollista, kun ei ole kovia lämmönläpäisykertoimen vaatimuksia (König 2019-02-26). Väliseinäelementin yleinen paksuus on 115 mm (MHM Planning Manual 2014, 16; Helamo 2018). Viimeisen 15-vuoden aikana useissa maissa on luotu seuraavia seinärakenteita:

MHM	Lämmöneriste
7 kerrosta	16–20 cm
9 kerrosta	10–16 cm
11 kerrosta	8–14 cm
13 kerrosta	6–10 cm
15 kerrosta	2–10 cm

MHM Entwicklungs GmbH ei aseta säädöksiä, eikä ole vastuussa, kuinka montaa eristekerrosta käytetään. (König 2019-02-26.)

ETA-15/0760 (2018, 3) -arvion mukaan kantavan rakenteen vähimmäispaksuus on kolme kertaa laudan paksuus. Arvion sisältämä väitös on kuitenkin virheellinen ja korvataan seuraavaan ETA-versioon kerrottavalla laudan paksuus viidellä. Esimerkiksi valitun laudan paksuus on 23 mm. Jos MHM-seinä halutaan tehdä kantavaksi, tulee sen paksuus olla 5*23 mm eli yhteensä 115 mm. MHM-seinät ovat kantavia, kun lautakerrosten määrä on 5–15 kappaletta. (König 2019-02-26.) Seinäelementin voi myös tehdä ulkopuolelta eristettynä, jolloin paksuus määräytyy myös eristepaksuuden mukaisesti. MHM-järjestelmässä eristys sijoitetaan massiivisen puuelementin ulkopuolelle, jolloin kosteus ei tiivisty kantavan rakenteen ja eristeiden väliin. Kuvassa 3 on esitetty rakennepaksuuksien lautakerrosmääriä sekä muita ominaisuuksia. Myös muut eristepaksuudet ovat mahdollisia, kuin kuvassa esitetään. Pintojen verhous on mahdollista ja usein myös toivottua. Sisäpuolella pinnat voidaan maalata, levyttää ja tasoittaa tai halutessaan niihin voidaan asentaa sisustuspaneeli. Ulkopuolelle voidaan lisätä puuverhous, ulkoverhouslevy tai myös rappaus. (Rakennusvarma Varma luonnonpuu s.a, e.) MHM-puuelementin korkeus on normaali kerroskorkeus eli yleensä noin kolme metriä, mutta kuitenkin suurimmillaan 4 m ja pituus on maksimissaan 6 m. Tuotantokoneesta riippuen elementin korkeus voi kuitenkin olla 3,25 m tai 4 m. (MHM Planning Manual 2014, 8; ETA-15/0760 2018, 14; König 2019-02-26.)



Kuva 3. Rakennepaksuuksien lautakerrokset sekä MHM-elementin ominaisuuksia (Rakennusvarma Varma luonnonpuu s.a, f)

Ristiin naulattujen lautojen materiaalina käytetään Rakennusvarma Oy:n mukaan havupuulautaa, vaihtelevilla leveyksillä, joiden kuivattamalla saatu kosteusprosentti on 15 % (± 3 %). Kuivatut lauta-elementit säilyttävät muotonsa hyvin ja ne ovat tuholaisille vastustuskykyisiä. Pituussuuntainen laajenemiskerroin puulle on $8,0 \text{ m}^*10^{-6}/^{\circ}\text{K}$ (Rakennusvarma Varma luonnonpuu s.a, g.), mikä tarkoittaa sitä, että muodonmuutokset eivät ole mitattavissa perinteisillä rakennustyömaan mittaustyökaluilla (MHM Planning Manual 2014, 8). Helamo toteaa MHM-info diaesityksessään (2018), että MHM-lamellien materiaali voi olla mäntyä tai kuusta. Myös Trä Kronor -internetsivusto tukee tätä väitettä, sillä heidän pientaloprojektissaan Espooseen 2018 MHM-elementti oli mäntyä tai kuusta (Trakronor.fi). ETA-15/0760 (2018, 2) -arvion mukaan puulaji on eurooppalaista kuusta tai vastaavaa havupuuta.

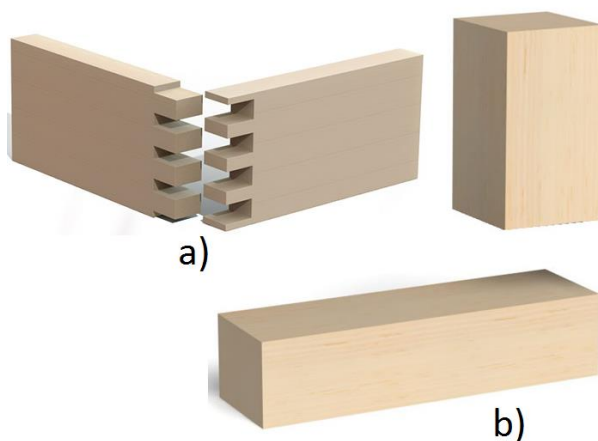
2.2 Ominaisuudet

2.2.1 Rakenteellinen lujuus

Puu on luonnonmateriaali ja sen ominaisuudet, kuten lujuus, ulkonäkö sekä muut fysikaaliset ominaisuudet ovat vaihtelevia. Sen lujuuteen vaikuttavat tietenkin puulaji ja sen tiheys, kosteusprosentti sekä mahdolliset viat. Nyrkkisääntönä on, että puun lujuus lisääntyy sen tiheyden kasvaessa. Tiheyden arvioinnissa on aina huomioitava tilavuuden ja massan kosteustila mittaushetkellä. Yleensä tiheys annetaan ilmakeivätiheytenä, joka tarkoittaa sitä, että puun tilavuus sekä massa on mitattu kosteuden ollessa 15 %. Syiden suuntaisuus kuormitukseen nähden on oleellista puun lujuudessa, ja syiden suuntainen vetolujuus onkin yleensä 10–20 -kertainen verrattaessa lujuutta kohtisuoraan

syitä vastaan. Puun ominaisuudet voivat vaihdella hyvinkin paljon ja siksi puuta on tärkeää lajitella käyttötarkoituksen mukaan. Lajittelussa on kaksi pääsääntöistä tarkastelukohtaa, jotka ovat puun lujuustekniset ominaisuudet sekä ulkonäkö. Noin 90 % laatuksiteereistä kohdistuu oksiin. Lujuuslajittelu voidaan tehdä koneellisesti, jonka perinteinen lajittelumenetelmä on puun taivuttaminen, tai silmävaraisesti, jolloin tarkastellaan juuri oksien sijaintia, laatua ja määrää sekä kieroutta, halkeamia, vääryyttä ja muita vikoja. (puuinfo.fi.)

MHM-materiaalin tiheys on noin 480 kg/m^3 (MHM Planning Manual 2014, 8). MHM-puuelementissä ristikkäin naulatut laudat ovat visuaalisesti tai koneella lujuusluokiteltuja, jotta ne voidaan lajitella oikeaan lujuusluokkaan (ETA-15/0760 2018, 2). Merkittävin tekijä puun lujuuslajittelussa on puun oksaisuus. Oksat tulkitaan puumateriaalissa reikinä ja mitä enemmän niitä on puun poikkileikkauksessa, sitä heikompaa puun lujuus on. Puun pituussuunnassa oksien lukumäärällä ei ole periaatteessa merkitystä. (Mylly 2017.) Pinta- sekä sisäkerros ovat lujuusluokaltaan C16 tai parempia. C24-lujuusluokalle on olemassa lisävaatimuksia kaarevuudesta riippuen. (ETA-15/0760 2018, 14.) Yleensä valittu sahatavara on lujuusluokaltaan C24. Vain teknisesti kuivattua puuta käytetään rakenteissa (ETA-15/0760 2018, 2). Käsittelemättömiä lautoja uunikuivataan vähintään kahdeksan tuntia 65 °C :ssa, joka korvaa kemikaalisen puunkyllästysaineen tarpeen (MHM Planning Manual 2014, 8). Yksittäiset laudat voidaan liittää pituussuunnassa toisiinsa sormiliitosten avulla EN 14080-standardin mukaisesti, mutta puskuliitoksia ei käytetä lautojen liitoksissa (ETA-15/0760 2018, 3). Kuvassa 4 on esitetty, millaisia ovat sormi- sekä puskuliitos.



Kuva 4. Kohdassa a) sormiliitos ja kohdassa b) puskuliitos (Puuproffa.fi muokattu)

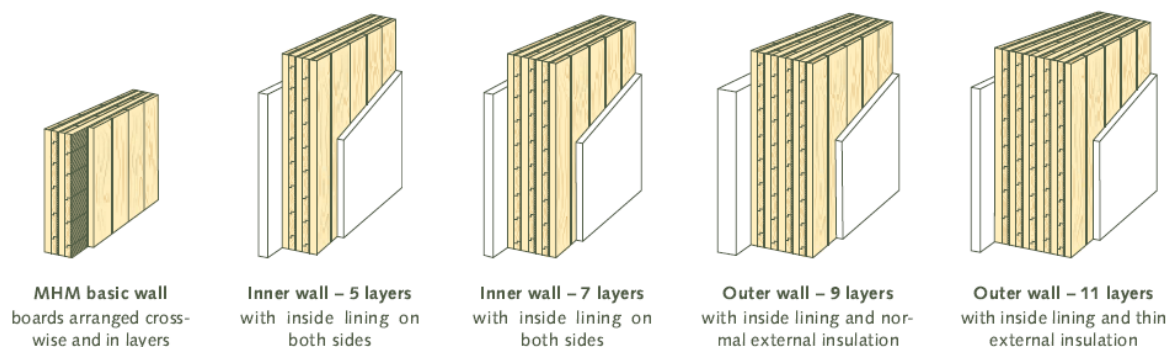
2.2.2 Ekologisuus ja hyödyt

MHM-rakenne on täysin vapaa liimasta tai kemikaalisista lisäaineista. Tuotteen valmistukseen tarvittavan puun kaataminen on ekologinen ja kestävä kehitys tukeva ratkaisu, sillä kasvava metsä on tehokkain hiilidioksidinielu metsien vanhenemisen sekä puiden polttamisen sijaan. (Rakennusvarma Varma luonnonpuu s.a, h.) Tämän vuoksi puutuotteilla on pieni hiilijalanjälki. Ensisijaisesti elementit pitäisi suunnitella siten, että ne voidaan käyttää sellaisenaan tai pienempinä osina käyttöään jälkeen uudessa rakennuksessa (Tanskanen 2019-02-13). MHM-seinä tulee sahalaitokselta, tehdään taloksi ja voidaan joku päivä kierrättää hakkeena (MHM Planning Manual 2014, 14). MHM-puuelementeistä

tehdyssä hakkeessa on paljon alumiininauloja, jotka ovat kierrätettyjä. Polttoprosessissa puu ja alumiini voidaan erotella. Puumateriaali palaa ja alumiininaulat sulavat ja sula tippuu tuhka-astiaan. Toinen vaihtoehto on erotella puuhakkeessa olevat naulat voimakkaan magneetin avulla. Naulat voidaan toimittaa sulattamoon ja niistä voidaan tehdä esimerkiksi taas uusia nauloja. (König 2019-02-26.) Tästä kierrosta saatu energia on uusiutuvaa, jolla uusiutumattomia energian lähteitä saadaan korvattua. Rakennusvarma Wood Oy tarjoaa asiakkailleen jopa mahdollisuuden teettää talonsa oman metsänsä puilla ja heidän Loviisan sekä Kemin tuotantolaitoksilla otetaan huomioon päästöjen minimointi ja viimeisimmät ympäristönormit (Rakennusvarma Varma luonnonpuu s.a, i). MHM:n etuina ekologisuuden suhteen voidaan pitää myös sen keveyttä verrattuna betonielementteihin. Kevyempi rakenne ei vaadi yhtä isoja nostureita eikä myöskään yhtä massiivisia perustuksia. Samoista syistä johtuen MHM-elementtien siirtäminen tehtaalta rakennuspaikalle on ympäristöystävällisempää.

MHM-elementti on luonnollisesti eristävä ja hengittävä tuote, sillä laudoissa olevat urat toimivat eristeenä sekä varmistavat rakenteen hengittävyuden, jonka vuoksi MHM-taloissa voidaan nauttia terveyttä edistävästä huoneilmasta. MHM-elementtien seinät kirjaimellisesti hengittävät, sillä niillä on kaasua läpäisevä rakenne ja se voi sen vuoksi imeä, varastoida ja vapauttaa höyrymäistä kosteutta, jolloin se huolehtii luonnollisesta ilmastoinnista. Rakennusratkaisu ei tarvitse liimoja tai höyrynsulkumateriaaleja, jotka vähentävät diffuusiota ja häiritsevät kosteuden luonnollista virtausta sisältä ulos. MHM-seinän hygroskooppinen ominaisuus pitää huolen kosteuden tasaisuudesta huoneilmassa jokaisena vuodenaikana. Myös massiivipuuseinän alhainen lämmönjohtavuus antaa positiivisen vaikutuksen sisälämpötilaan riippumatta ulkoilman lämpötilan vaihteluista. (MHM Ecological and individual 2018, 19; Rakennusvarma Varma luonnonpuu s.a, j.)

MHM-elementtirakentaminen on joustavaa rakentamista, jota voi soveltaa hyvin erilaisiin räätälöityihin ratkaisuihin. MHM on hyvä ratkaisu jopa epätavallisiin pohjaratkaisuihin, sillä sen monipuolisuuden ansiosta kaikki pohjaratkaisut ovat toteutettavissa – rajoittavaa moduulikaavaa ei ole. Lisähyötyinä ovat myös vapaavalintainen geometria ja yksilöllinen pintaverhouksen valinta. (MHM Ecological and individual 2018, 21; Massivholzmauer.de/en.) Eristepaksuus määräytyy lämpöhäviöiden asetusten mukaisesti, kussakin maassa omilla arvoillaan. Suomessa Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 mainitsee lämmönläpäisykertoimien eli U-arvon vertailuarvoksi ulkoseinälle $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ja massiivipuuseinälle, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm, $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ (1010/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta). Kuvassa 5 on esimerkkejä verhouksen sekä eristeen sovelluksista. Myös muutosten tekeminen ja laajennokset onnistuvat ongelmitta MHM-rakenteella, jopa vuosien kuluttua. Esimerkiksi oven lisääminen onnistuu pienellä vaivalla. Tuotannossa tietokoneohjattu valmistuslinja valmistaa elementit tarkasti suunnitelmien mukaisesti ja elementtien valmiusaste on korkea. Ikkunat, ovet ja talotekniikan varaukset leikataan ja valmistetaan tehtaalla. (MHM Ecological and individual 2018, 21, 23.) Vaihtoehtoisesti MHM-elementin sisäpuolelle voidaan tehdä koolaamalla asennustila sähköjohdoille ja muille asennuksille. Hyvän esivalmistuksen ansiosta itse rakentaminen työmaalla MHM-seinistä on nopeaa (MHM Ecological and individual 2018, 23).

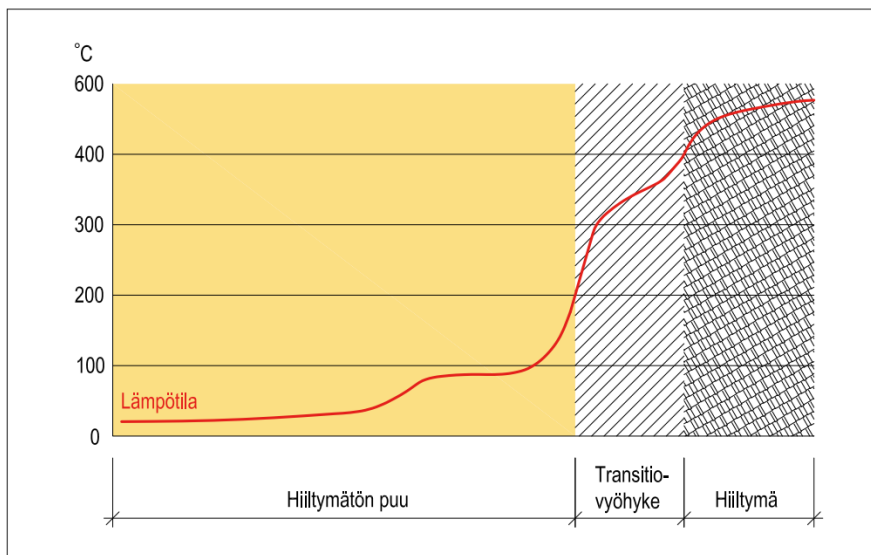


Kuva 5. Verhouksen ja eristeen sovelluksia (MHM Ecological and individual 2018, 21)

Lisähyötyinä mainittakoon, ettei MHM rakennuksissa ole ilmaantunut yhtäkään tuholaisvahinkoa yli 5000 rakennetussa rakennuksessa. Lautojen katkaisun jälkeinen kuivatus tekee puun tuholaisista, toukista ja niiden munista harmittomia ennen materiaalin jatkokäsittelyä. Kuivatus myös vähentää ravintoarvoja ja houkutusasoja, jolloin tuholaiset eivät ole kiinnostuneita puutavarasta. Myös vesivahingon sattuessa MHM-rakenteesta löytyy hyviä puolia. Suurin osa MHM-seinästä koostuu puusta, eikä eristeistä taikka rakennusmateriaaleista, jotka sitovat vettä. Mahdollinen lämmöneristys sijaitsee seinäelementin ulkopuolella. Kastunut MHM-seinä kuivuu takaisin sen normaaliin kuntoonsa mahdollisen vesivahingon jälkeen. Veden pääsy liimattomaan MHM-rakenteeseen on pikaisesti havaittu, koska vesi virtaa nopeasti ulos voittuneesta seinäelementistä, paljastaen nopeasti vuotokohdan. Jos MHM-seinäelementti vaurioituu pysyvästi, voittunut alue seinästä voidaan leikata pois ja korvata uudella elementillä. Massiivisen puurakenteen ansiosta MHM vaimentaa merkittävästi suurtaajuista säteilyä ulkoa, jotka ovat peräisin ympäristön lähetinlaitteista. Tällä suojausvaikutuksella voi olla positiivisia vaikutuksia terveyteen. (MHM Ecological and individual 2018, 17.)

2.2.3 Palo-ominaisuudet

Puu on palava rakennusmateriaali, jonka käyttäytyminen palotilanteessa tunnetaan hyvin. Puuta kuumentaessa se pehmenee ensin ennen syttymistään ja puun lämpötilan kohotessa 100 °C:seen siitä alkaa höyrystyä kemiallisesti sitoutumaton vesi. Puun ollessa kuiva, terminen pehmeneminen alkaa noin 180 °C:n lämpötilassa ja se on maksimissaan puun lämpötilan ollessa 320–380 °C. Tässä lämpötilassa puun ligniinin, selluloosan ja hemiselluloosan sidokset alkavat hajota. Kostean puun terminen pehmeneminen alkaa jo noin 100 °C:ssa. Puu saadaan syttymään 250–300 °C:ssa. Syttymislämpötilaan vaikuttaa, kuinka kauan puu on altistettuna lämmölle. Palotilanteessa puun pintaan muodostuu hiilikerros, joka hidastaa sisäosien lämmön nousua sekä samalla puun palamista. Itse syttymiseen vaikuttaa puukappaleen koko sekä sytytyslähteen teho. Puurakenteen palomitoituksen kannalta on tärkeää tietää puun hiiltymisnopeus erilaisissa tapauksissa. Hiiltymiseen vaikuttaa myös palosuojauksen tyyppi. (Lahtela, Puuinfo Oy 2018, 80.) Kuvassa 6 on suojaamattoman puun toiminta palotilanteessa ja hiiltymisen kehitys. Puurakenteiden palomitoitus tehdään Suomessa RIL 205-2 mukaan, joka perustuu standardiin EN 1995-1-2 Puurakenteiden palomitoitus. Tero Lahtelan (2018) tekemä ja Puuinfo Oy:n kustantama teos Paloturvallinen puutalo asuin- ja toimitalorakentaminen on hyödyllinen opus puurakenteiden paloturvallisuuden suunnitteluun.



Kuva 6. Palotilanteessa puun pintaan muodostuu hiilikerros, joka hidastaa palamista (Lahtela 2018 muokattu)

Kantavat ja osastoivat rakennusosat on suunniteltava REI-luokkavaatimusten mukaisiksi käyttämällä standardipalokäyrän esittämää palotilannetta (Lahtela, Puuinfo Oy 2018, 10). R merkitsee kantavuutta, E tiivyyttä ja I eristävyuden kestävyttä. Kirjanyhdistelmän perässä on myös luku, joka ilmaisee palonkestävyyssajan minuutteina. MFPA Leipzig GmbH:n paloturvallisuuden luokitusraporteissa todetaan, että paloluokan REI 90 saavuttamiseksi seinärakenne on 160 mm paksu MHM-levy, jossa on 9,5 mm:n kipsikartonkilevy rakenteen tulelle altistumattomalla puolella ja 15 mm paksu palosuojalevy palolle altistuneella puolella. Altistus palolle on yhdestä suunnasta. Samaan paloluokkaan päästään myös rakenteella, joka on 205 mm paksu MHM-levy, joka on verhottu toiselta puolelta 18 mm:n kipsikartonkilevyllä. Altistuminen palolle tässäkin tapauksessa yhdestä suunnasta. Luokitusraportit löytyvät tämän opinnäytetyön liitteestä 1.

Rakennustarvikkeet luokitellaan paloon osallistumisen perusteella. Luokituksessa keskitytään materiaalin syttymisherkyyteen, palon leviämiseen liittyviin ominaisuuksiin sekä savun ja palavien pisaroiden tuottoon. Luokitus perustuu rakennustarvikkeiden käyttäytymiseen palon alussa. Luokkamäärittäminen tapahtuu standardien mukaisilla polttokokeilla. Rakennustarvikkeen luokka on aina selvitettävä valmistajalta. Puutuotteet kuuluvat yleensä luokkaan D, jossa osallistuminen paloon on hyväksyttävää. (Lahtela, Puuinfo Oy 2018, 24, 26.) Kuvassa 7 on rakennustarvikkeen luokkamerkinnän muodostuminen. ETA-15/0760 (2018, 17) -arvion mukaan rakennustarvikkeen luokitus massiivipuulevyille, lattiat poisluettuna, on eurooppalaisen rakennustarvikkeen luokkamerkinnän mukaan D-s2, d0, kun minimitiheys ρ_{\min} on 400 kg/m³. Tuotteen suunnitteluohjeen mukaan materiaalin tiheys on noin 480 kg/m³ (MHM Planning Manual 2014, 8). Hiiltymisnopeutena on ilmoitettu 1,15 mm/min suojaamattomana rakenteena standardin EN 1365-1 perusteella (ETA-15/0760 2018, 17).

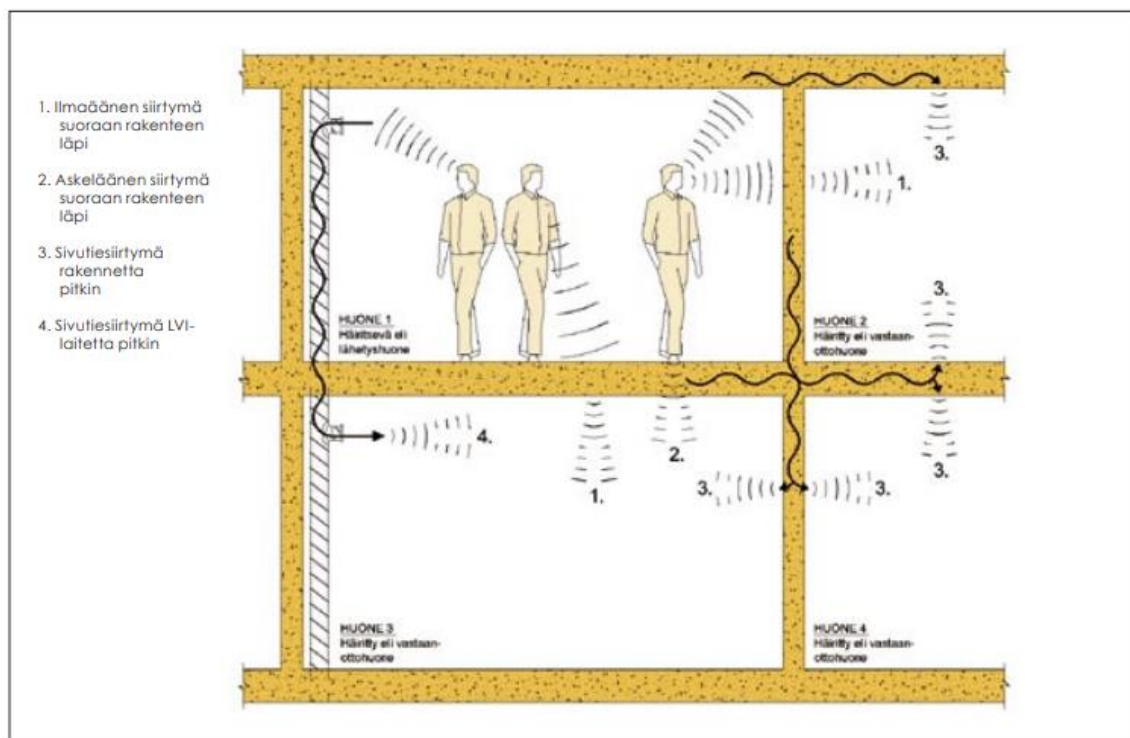
Osallistuminen paloon		Savun tuotto		Palavien pisaroiden ja osien tuotto	
Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä
Ei osallistu paloon	A1	Erittäin vähäinen Vähäinen Muu kuin s1 tai s2	s1 s2 s3	Ei esiinny Nopeasti sammuvia esiintyy Muu kuin d0 tai d1	d0 d1 d2
Osallistuu erittäin rajoitetusti	A2				
Osallistuu hyvin rajoitetusti	B				
Osallistuu rajoitetusti	C				
Osallistuminen hyväksyttävää	D				
Käyttäytyminen hyväksyttävää	E				
Käyttäytymistä ei ole määritetty	F				

Kuva 7. Rakennustarvikkeen luokkamerkinnän muodostuminen tavallisesti (Lahtela 2018 muokattu)

MHM-seinän rihlatut alumiininaulat antavat lisälujuutta ja estävät lautakerrosten hajoamisen (MHM Ecological and individual 2018, 15). Esimerkiksi polyuretaanipohjaisilla liimoilla valmistetuissa rakennustuotteissa voi esiintyä niin sanottua delaminointumista eli lamellien irtoamista, kun hiiltymä on edennyt liimasaumaan asti (Lahtela, Puuinfo Oy 2018, 92). MHM-rakenteen lämmönjohtokyky on alhainen ja se lämpenee varsin hitaasti. Tällöin riski palon leviämisestä kuumien pintojen tai savun avulla pienenee. (Rakennusvarma Varma luonnonpuu, s.a, k.) Lisäksi MHM ei päästä palotilanteessa kemikaalien myrkyllisiä savukaasuja (Helamo 2018). Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen paloturvallisuudesta 848/2017 laajennettiin yksinkertaistetussa mitoituksessa puukerrostalojen käyttötarkoituksia, helpotettiin suojaamattoman massiivisen puun käyttöä puukerrostalojen sisäpinnoissa. Lisäksi suojaverhousvaatimuksia puukerrostalojen sisäpinnoissa helpotettiin. (Ym.fi.) Asetuksen mukaan puukerrostaloissa kantavien puurakenteiden sisäpintaa saadaan jättää verhoamatta 20 % huoneiston katto- sekä seinäpinnoista. Kantavuusvaatimusta nostamalla 90 minuuttiin voidaan puupintaa jättää näkyviin jopa 80 %. Lisäksi kantamattomat väliseinät sekä lattiat voivat olla vielä puupintaisia. (Puutuoteteollisuus.fi.)

2.2.4 Akustiikka ja ääneneristys

Äänieristyksessä on kyse tilan ulkopuolelta tulevien äänien torjumisessa tilaa ympäröivillä rakenteilla. Äänenvaimennuksessa tilan äänitasoa pyritään laskemaan lisäämällä tilaan vaimentavia pintoja. Tällöin melu ei häiritse liikaa. Melun lähde on useasti samassa tilassa, mutta se voi olla myös ulkopuolellakin. Vaimennuksella pyritään pienentämään huoneen kaikuvuutta. Kaiku on haittatekijä, joka häiritsee puheen ymmärtämistä. Meluntorjunnassa kyse on tilan äänenvaimennuksesta sekä LVIS-laitteiden tekemisestä mahdollisimman hiljaiseksi, että niiden ääni häiritse. (Korpinen 2015.) Ääni etenee tilasta toiseen monia eri reittejä pitkin (kuva 8). Tavallisin reitti on äänen kulkeutuminen suoraan rakenteiden, kuten esimerkiksi seinän läpi. Lisäksi ääni voi kulkeutua sivutiesiirtymäreittejä pitkin, kuten toisiinsa liittyvien rakenteiden kautta. Sivutiesiirtymäreittejä voi myös olla erilaiset LVIS-laitteet, kuten lämpöpatterien putket tai ilmanvaihtoputket. (Lahtela 2004, 10.) Sekä äänen suora kulkeutuminen, että sivusiirtymäreitit tulee ottaa huomioon suunnittelussa sekä toteutuksessa. Rakennneosien liitos- sekä aukko-kohtien suunnittelu ja toteutus on erityisen tärkeää, sillä ääneneristykseen puutteellisuuden korjaaminen on yleensä monimutkaista ja kallista. (MHM Planning Manual 2014, 19.)



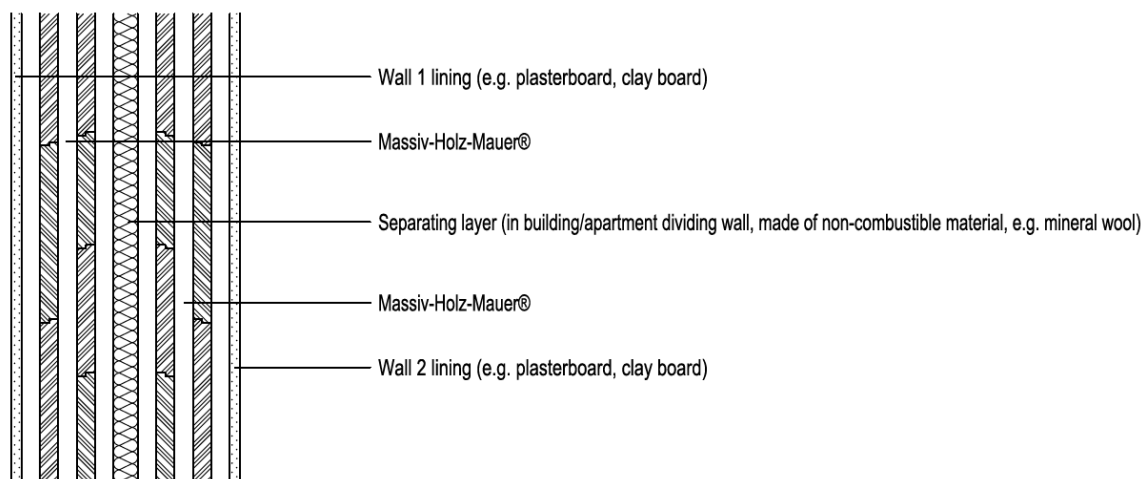
Kuva 8. Äänen etenemisreitit rakennuksessa (Lahtela 2004, 11)

Rakenteen ilmaääneneristävyys tarkoittaa rakenteen kykyä eristää ilmaääntä eri tilojen välillä eli toisin sanoen kyse on siitä, että ulkopuolisen ilmatilan ääniä yritetään torjua tilaa ympäröivillä rakenteilla. Myös rakenteita pitkin tulevia ääniä yritetään eristää. Rakenteen ilmanääneneristävyttä kuvataan ilmaääneneristysluvulla R_w tai R'_w , joka riippuu ilmaääneneristysluvun määrittäytavasta. Laboratoriossa määritetyille ilmaääneneristysluvulle käytetään merkintää R_w , ja valmiissa rakennuksessa tilojen välillä merkintä on R'_w . Ilmaääneneristävyys on sitä parempi, mitä suurempi ilmaääneneristysluku rakenteella on. (Lahtela 2004, 12; Korpinen 2015.) Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017 äänitasoeroluvulla $D_{nT,w}$ tarkoitetaan mittalukua, joka kuvaa huonetilojen välistä ilmaääneneristystä. Sen mukaan uusien rakennusten asuntojen, majoitus- tai potilashuoneiden välillä pienin sallittu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ on 55 dB ja uloskäytävästä asuin-, majoitus- tai potilashuoneeseen vastaava luku on 39 dB. Samassa asetuksessa myös todetaan, että rakennuksen, jossa on asuntoja, majoitus- tai potilashuoneita, ulkovaipan ääneneristys on suunniteltava ja toteutettava siten, että ääneneristys on vähintään 30 dB. (796/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä.) Kuvassa 9 on esitettyä puheen ja rakenteen ääneneristettävyyden yhteys, jotta desibelien arvoja olisi helpompi ymmärtää. MFPA Leipzigin ja ift Rosenheimin testiraporttien mukaan MHM-elementille on todettu erilaisia ilmaääneneristyslukuja rakenteesta riippuen. Tulokset löytyvät myös ETA-15/0760 (2018, 20) -arviosta ja tämän opinnäytetyön liitteestä 2. Lisämerkintöinä ilmaääneneristävyydelle raporteissa on käytetty merkintöjä $R_w(C; C_{tr})$. Ilmaääneneristysluku raide- ja lentomelua vastaan on $R_w + C$ ja ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan on $R_w + C_{tr}$.

R'_w [dB]	Kuvaus
< 30	Seinä ei estä seuraamasta tapahtumia naapurihuoneistossa
>35	Normaali keskusteluääni kuuluu seinän läpi
>40	Normaali keskusteluääni kuuluu seinän läpi, mutta sanoista ei saa selvää
>45	Normaali keskusteluääni ei kuulu seinän läpi
>50	Voimakas puhe kuuluu seinän läpi, mutta sanoista ei saa selvää
>55	Voimakas puhe ei kuulu seinän läpi
>60	Voimakas huuto kuuluu seinän läpi, mutta sanoista ei saa selvää

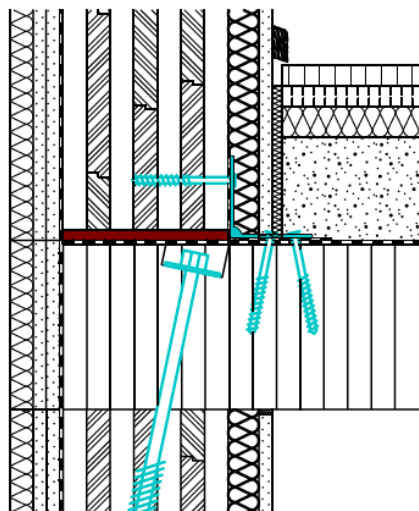
Kuva 9. Puheen sekä rakenteen ääneneristävyyden yhteys (Lahtela 2004, 17)

MHM rakenne tekee vaikutuksen hyvällä äänieristyksellään, joka on seinän suuren massan sekä kerrosrakenteellisuuden ansiota (MHM Ecological and individual 2018, 15). Rakenteen kerroksellisuus sekä ilmakerroksien määrä vaikuttavat ääneneristävyyteen positiivisesti (Alhberg 2015). Saavuttaakseen tai ylittääkseen hyväksytyt tai vaaditut ääneneristysarvot, huolellinen suunnittelu on aina tarpeellista. Näin on myös MHM-elementeillä. Mikäli suunnitellaan suurempia projekteja, kuten kerrostaloja tai julkisia rakennuksia, ääneneristys on aina olennaisen tärkeä. (MHM Planning Manual 2014, 21.) Ääntä eristäviä rakenteita on kolme erilaista: yksinkertaisia massiivisia rakenteita, kaksinkertaisia rakenteita sekä verhottuja rakenteita, joissa verhoilu toimii äänensäteilyä vähentävänä pintana. Yksinkertaisen rakenteen ääneneristävyys pohjautuu rakenteen massaan ja jäykkyyteen. (Korpinen 2015.) Puu on kevyttä materiaalia, joten asuinrakennuksen ääneneristysvaatimuksien täytyminen vain puurakenteen massalla ei ole käytännössä mahdollista (Lahtela 2004, 14). Kaksinkertaiset rakenteet ovat usein suositeltavia erityisen tärkeisiin rakenneosiin, kuten huoneistojen välisiin seiniin (MHM Planning Manual 2014, 21). Kuvassa 10 on esitetty MHM-rakenteinen kaksinkertainen seinä, jossa puoliskot ovat keskenään samanlaisia ja erillisiä. Ilmavälin suuruudella ja sen täyttämällä eristeellä on positiivisia vaikutuksia ääneneristävyyteen. Ilmaväliin asennetaan ääntä absorboivaa materiaalia, esimerkiksi mineraalivillaa. Mitä pehmeämpää materiaali on, sitä enemmän se parantaa ääneneristävyyttä. Pintalevytyksen painolla voidaan vaikuttaa rakenteen ääneneristykseen. Yleensä käytössä on kipsilevyt, sillä niitä tarvitaan usein myös palotekniikan takia. (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela, Viljakainen 2013, 163.)

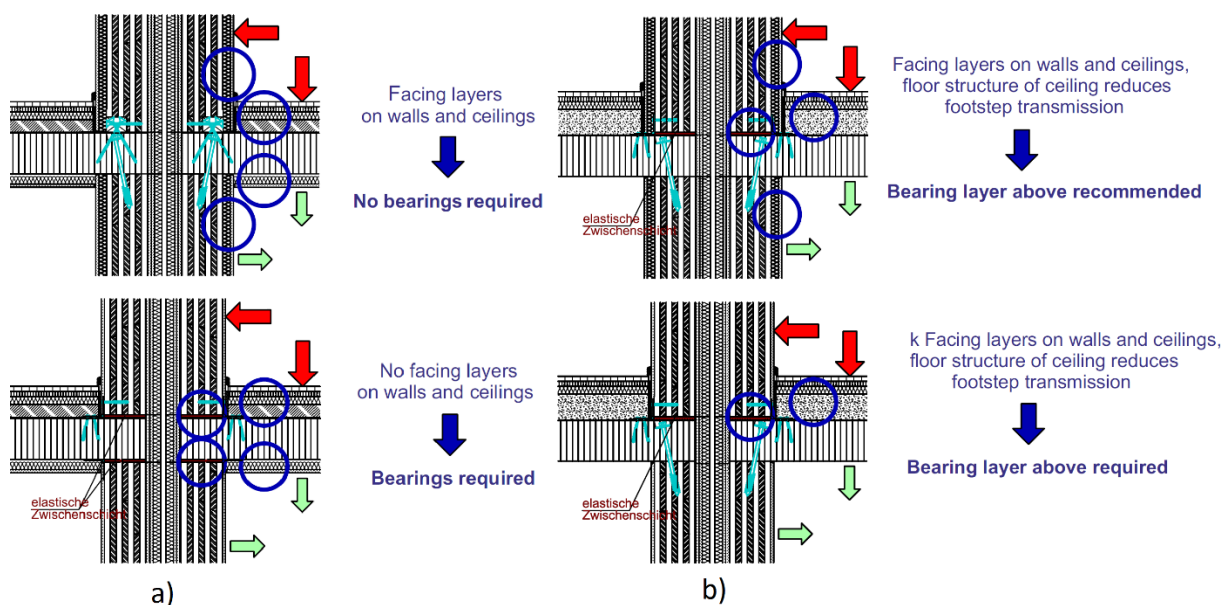


Kuva 10. MHM-rakenteinen kaksinkertainen seinärakenne (MHM Planning Manual 2014, 21)

Saavuttaakseen halutut tulokset, on olemassa suunnaton määrä toimenpiteitä. Tehokkaimpien ja yleisimmin käytettyjen joukossa ovat seinien ja kattojen pintaverhous, eristys rakenneosien liitoksissa, alaslasketut katot ja kimmoiset tukipinnat seinillä sekä sisäkatoilla. Riippuen seinätyypistä ja käytetystä lattiarakenteesta, voi olla tarpeellista vähentää äänen kulkeutumista kimmoisilla tukipinnoilla, kuten kumitiivisteillä ja elastisilla tiivistysmassoilla sekä erikoiskiinnikkeillä, kuten kuvassa 11. (MHM Planning Manual 2014, 21–22.) Tätä selvennetään kuvan 12 esimerkissä, jossa on huoneiston välisen seinän ja välipohjan liitos. Esimerkeissä on käytetty valmistajan omaa välipohjatuotetta PHE, mutta niitä voidaan soveltaa myös muihin rakenneratkaisuihin. Vain jos suunnitelmissa käytetään pintaverhouskerroksia, jolla on hyvä ääneneristys, sisäkatto voidaan ruuvata seiniin normaalisti. Mikäli pintakerroksia ei käytetä, on äänen siirtyminen vaimennettava toisella tavalla. Tässä tapauksessa kimmoiset tukipinnat yhdessä oikean yläpuolisen seinän kiinnityksen kanssa voi tarjota sopivan ratkaisun (kuva 12, kohta a). Parannellun lattiarakenteen käyttö, erityisesti ilman pintamateriaaleja olevien kattojen kohdalla, voi saada aikaan tarpeellisen ääneneristyksen ja seinärakenteesta riippuen lisäverhousta kattoon eikä kimmoisaa tukipintaa välttämättä tarvita (kuva 12, kohta b). (MHM Planning Manual 2014, 22.)



Kuva 11. Ääneneristyksen parantaminen elastisilla tiivistysmassoilla ja erikoiskiinnikkeillä (MHM Planning Manual 2014, 21)



Kuva 12. Äänen siirtymisen vaimennus (MHM Planning Manual 2014, 22 muokattu)

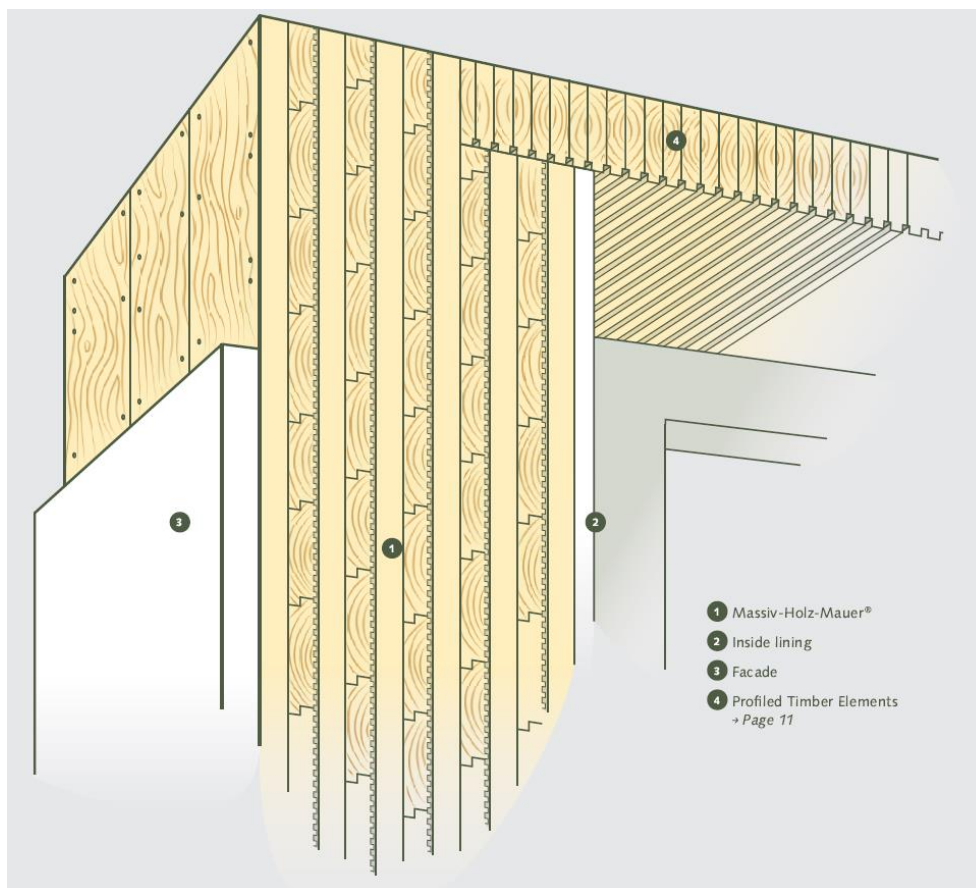
2.2.5 Kosteus- ja lämpötekniset ominaisuudet

Rakenteiden paksujen eristeiden ja nykyisten energiatehokkuusmääräysten vuoksi on syytä huomioida myös rakenteiden ilmatiiviys. Rakennuksen vaipan ulkopinnan huono ilmanpitävyys aiheuttaa epäviihtyisyyttä sekä vetoa. Ilmatiiviuden ollessa hyvä, rakenteilla saavutetaan hyvä lämpö- ja kosteustieteellinen toiminta sekä energiatalous. Ulkoseinän ja perustusten liitoksissa kosteuden siirtyminen kapillaarisesti on estettävä sokkelista seinärungon alaohjauspuuhun sekä myös ilmavirtausrungon ja sokkelin välissä. Käyttökelpoisia tiiviste- ja kapillaarikatkomateriaaleja ovat muun muassa umpisoluiset polyeteenivahtomuovinauhut ja kapillaarikatkona voi toimia myös bitumikermikaista. (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela, Viljakainen 2013, 58.)

Ulkokuoren ilmatiiviys toimii ratkaisevassa roolissa rakennuksen eristyskyvyssä. Jos ilman vaihtuvuustaso on liian korkea, energiaa kuluu hukkaan talvella jatkuvasti, kun taas kesällä rakennuksen sisäpuoli lämpenee yhtenäen. MHM-rakenteen tarjotessa riittävän pintavastuksen ilmanläpäisyvyyden osalta, on normaalisti vain tarpeellista tiivistää seinän päätypinnat puun tiivistysmassalla ja teipata elementtien seinäliitokset molemmilta puolilta. Kaikki liitoskohdat ikkunoihin, oviin, kattoihin tai välikatsoihin, perustuksiin ja muihin aukkoihin täytyy olla asianmukaisesti toteutettu ja yhteen sovitettu seinärakenteeseen. Jos erityisen vaativat ilmatiiviysvaatimukset on määrätty, MHM-rakennetta pitäisi täydentää lisätiivistyskerroksella, joka on hengittävä ja seinän ulkopuolelle soveltuva. Tämä tilanne on erityisesti passiivi- ja matalaenergiataloissa. Ehdotus tiivistyskalvon oikeasta sijainnista on esitetty suunnitteluesimerkeissä liitteessä 4. Ratkaisevana tekijänä halutussa ilmatiiviuden saavuttamisessa on oikea suunnittelu sekä toteutus, jossa rakennuksen tiivistystä käytetään oikeassa paikassa ja tiivisteet eivät ole vahingoittuneet työskennellessä. On suositeltavaa toteuttaa ilmatiiviyskoe rakennusvaipan valmistumisen jälkeen. Tällöin kaikki viat tai vahingot tiivistyskerroksessa voidaan havaita ja korjata jo varhaisessa vaiheessa. (MHM Planning Manual 2014, 23.)

Ilma voi imeä vaihtelevia määriä kosteutta itseensä riippuen lämpötilasta. Tällöin on kyseessä ilman kosteus. Imukyky on korkea kuumissa lämpötiloissa, mutta vähenee jatkuvasti lämpötilan laskiessa. Jopa erittäin ilmatiiveissä taloissa tietty osa lämmintä ja kosteaa ilmaa kulkee rakennuksen rakennosien läpi. Tämän seurauksena jossain rakennusosan sisällä aiheutuu 100 %:n ilmankosteus, jonka tuloksena muodostuu kondensaatiota eli ilman tiivistymistä. Höyrynsulun tehtävä on siten estää juuri tätä seurausta eli tehtävänä on estää haitallinen vesihöyryn diffuusio lämpimältä puolelta kylmälle puolelle. Sen siis täytyy varmistaa, että kondensaatiossa tiivistynyt kosteus kuivuu mahdollisimman nopeasti rakennetta vahingoittamatta. Yleensä tähän tarvitaan höyrynsulkukerros estämään ilman suotautuminen seinään liian nopeasti ja siten aiheuttaen liian nopean jäähtymisvaikutuksen. MHM-rakenteella tämä ei ole pakollista, sillä massiivipuulla on luontainen kyky säädellä kosteutta sopivasti itsessään (MHM Planning Manual 2014, 24.) MHM-rakennusratkaisulla ei siis tarvitse höyrynsulkumateriaaleja, jotka vähentävät diffuusiota sisältä ulos (Rakennusvarma Varma luonnonpuu s.a, I). ETA-15/0760 (2018, 17) -arvion mukaan MHM-elementit ovat avoimia vesihöyryn diffuusiolle. Haitallista tiivistymistä eli kondensaatiota elementissä vältetään tarkoituksenmukaisissa käyttöolosuhteissa. Tämä voidaan todistaa tapauskohtaisesti laskelmilla standardin EN ISO 13788 mukaisesti tarvittaessa. (ETA-15/0760 2018, 17.)

MHM-elementti voidaan pinnoittaa sisä ja ulkopuolelta käyttötarkoitukseensa sopivalla materiaalilla. Sisäpuolen pintaverhous voidaan asentaa MHM-seinän pintaan, eikä eristeitä tarvitse rakenteiden väliin. Täten asennettu puu vaikuttaa parhaiten sisäilmaan, sen luonnolliseen lämmön varastointikapasiteettiin sekä kosteussuojaukseen (kuva 13). (MHM Ecological and individual 2018, 9.) Tarvittaessa MHM-rakenne voidaan eristää ulkopuolelta, jolloin U-arvoa saadaan parannettua entisestään. Kuvassa 14 annetut eristepaksuudet ovat suuntaa antavia, minkä vuoksi laskelmat on aina tehtävä tapauskohtaisesti rakenteita suunniteltaessa. Lautojen uritus parantaa noin 20 % lämmöneristystä verrattuna tavalliseen sahatavaraan. Tämän ansiosta MHM-järjestelmällä voi säästää 20 % myös puun ja eristemateriaalin kulutuksessa. (MHM Ecological and individual 2018, 9.) Eristekerros sijoitetaan aina massiivisen puurakenteen ulkopuolelle, jolloin kosteus ei pääse tiivistymään eristeen ja seinän väliin. Toimivan lämmöneristykseen tarjoamiseksi, rakennus täytyy suunnitella siten, että talvella menetetään mahdollisimman vähän lämpöä ulkokuoren läpi ja kesällä puolestaan sisäpuoli ei kuumene tukalan lämpimäksi. Tämä vaatii vuorovaikutusta useiden eri rakennuksen ulkokuoren osien välillä. Tältä kannalta MHM-seinäelementti hyödyntää erinomaisesti massiivipuun luonnolliset ominaisuudet. Puu sitoo hyvin lämpöenergiaa ja edistää rakennuksen pitämisen lämpimänä talvella sekä viileämpänä kesällä. Riittävän pieni U-arvo on saavutettava, jotta lämmön karkaaminen voidaan estää talvisin ja U-arvon täytyy myös täyttää voimassa olevat rakennusmääräykset. Samanaikaisesti täytyy kiinnittää huomiota ulkokuoreen, jolla on riittävä lämmön varastointikapasiteetti, jotta sen hidas reagointi lämpötilojen vaihtelun suhteen pystyy ehkäisemään liiallisen lämmön käyttöönoton kuumina kesäpäivinä. (MHM Planning Manual 2014, 25.)

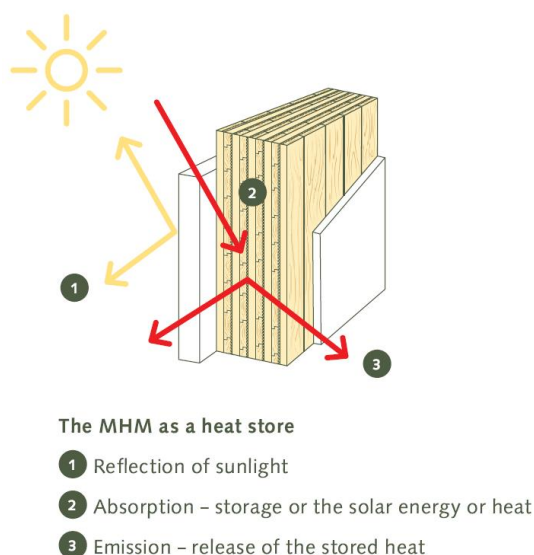


Kuva 13. MHM-seinärakenne ja verhouksien asennus suoraan puun pintaan (MHM Ecological and individual 2018, 9 muokattu)

U-values of the outer walls		
Lamda-value as per certificate 0,11 W/mK		
Wall thickness	insulated	insulated
	10 cm wood soft fibre WLG 040	16 cm wood soft fibre WLG 040
20,5 cm	0,22 W/m ² K	0,17 W/m ² K
25,0 cm	0,20 W/m ² K	0,16 W/m ² K
29,5 cm	0,19 W/m ² K	0,15 W/m ² K
34,0 cm	0,17 W/m ² K	0,14 W/m ² K
The Massiv-Holz-Mauer® provides the majority of the insulation.		

Kuva 14. MHM-rakenteen U-arvoja eri seinäpaksuuksilla sekä eristepaksuuksilla (MHM Natural living – without glue and chemicals s.a b)

Lämpöä varastoivat materiaalit auttavat optimoimaan energiankulutusta kuten ne myös imevät talvi-aurion lämpösäteilyä ja voivat käyttää tätä energiaa "lämmittämään" asumistilaa jonkin aikaa ja/tai estämään lämmitysjärjestelmän lämpöhäviötä. Tällaista aurinkoenergian hyödyntämistä voi saavuttaa sisäisillä sekä ulkoisilla rakenneosilla. Tässä mielessä puu esiintyy loistavana väliaineena, koska sillä on erittäin hyvä ominaislämpökapasiteetti. Tämä tarkoittaa sitä, että huolimatta sen hyvistä lämmöneristysominaisuuksista, MHM-rakennesosat saavuttavat korkean lämmönvarastointikapasiteetin ja voivat hyödyntää suuria määriä aurinkoenergiaa. Kesäisin nuo ominaisuudet varmistavat, että auringon energian varastointi estää rakennuksen sisätilojen kuumentumisen välittömästi aurinkoisina päivinä. Sen sijaan huoneiden lämpeäminen viivästyy useilla tunneilla. MHM-rakenne voi tuottaa 12 tunnin vaihesiirron. Tämä tarkoittaa, että päivällä varastoitu energia ei ala lämmittämään sisätiloja ennen yötä, luoden stabiilin sisäilman, jopa silloin kun ulkona on suuret lämpötilan vaihte-
lut. Riippumatta muista rakenneosista ikkuna-alueiden verhous on kuitenkin aina tarpeellista kuumina kesäpäivinä. (MHM Planning Manual 2014, 25.) Kuvassa 15 on esitetty MHM-järjestelmän toiminta lämmön varastoijana.



Kuva 15. MHM-seinärakenne lämmönvarastoijana (MHM Ecological and individual 2018, 19)

2.2.6 Seisminen käyttäytyminen

Maanjäristystapauksessa maan liikkeet saavat aikaan siirtymiä rakennuksissa sekä siten myös hitausvoimia rakenteissa. Nämä ovat seismisiä kuormia. Seismisten kuormien kestämisiksi rakennuksen on kyettävä sietämään vaakasuuntaisia siirtymiä siten, ettei lujuus laske samanaikaisesti. Hau-raat ja jäykät rakenteet toimivat yleensä huonosti maanjäristyksissä, koska jo pienet liikkeet voivat aiheuttaa äkillisen murron. Sitkeät rakenteet tai rakenteet, joilla on sitkeitä liitososia puolestaan toimivat maanjäristyksissä hyvin. Tämä perustuu niiden suureen muodonmuutoskapasiteettiin ja kykyyn sietää muodonmuutoksia kehittämättä samanaikaisesti suuria voimia. Suomessa ei maanjäristyksen vaikutuksia tarvitse mitoitaa erikseen. Tämän vuoksi Eurokoodi 8 Rakennusten seisminen mitoituksen suunnitteluohje on Suomessa jäänyt vähäiselle huomiolle. (Toratti 2001, 8.) MHM-rakenteesta kuitenkin voidaan rakentaa rakennuksia myös alueille, joissa maanjäristyksiä tapahtuu. Maanjäristysalueilla rakennukset tulee suunnitella ja rakentaa siten, ettei rakennus sorru ja rakennukseen syntyy vain rajallisesti vaurioita sekä rakennus säilyy yhtenäisenä pystyssä (Toratti 2001, 15).

Maanjäristyskestävyyden suhteen puurakennuksilla on hyvä maine. Tämä perustuu pieneen omapainoon, sitkeisiin liitoksiin ja yleensä selväpiirteiseen pohjaratkaisuun sekä toimivaan jäykistykseen. Erytistä huomiota on kiinnitettävä rakennuksen ankkurointiin sekä välipohjien jäykistykseen tai alimman kerroksen riittävään jäykistykseen. Seismissä suunnittelussa käytettävissä oleva kuormituksen suunnitteluarvo saadaan yhdistämällä maanjäristyskuormien sekä pysyvien kuormien vaikutus. Tuulikuormaa ei tarvitse huomioida maanjäristyskuorman kanssa samanaikaisesti. Rakennukseen kohdistuvat vaakakuormat ovat useimmissa tapauksissa selvästi vaarallisempi kuorman suunta. Seismissä kuormituksessa voimat ovat sykliisiä ja muuttavat äkillisesti suuntaa sekä pysty- että vaakasuunnassa. Rakenneosat on sen vuoksi sidottava hyvin toisiinsa niin, etteivät välipohjat tai palkit pääse tuelta putoamaan. (Toratti 2001, 8–9, 23, 25.) MHM-rakenne on hyvä ja sitkeä tuote maanjäristystilanteessa, koska se kestää vetoa molempiin suuntiin. Maanjäristyskuormat siis riippuvat rakennuksen omasta painosta. MHM on puuta ja siten kevyttä, jonka vuoksi syntyvät vaakavoimat ovat pienempiä, kuin muilla materiaaleilla. (Tanskanen 2019-02-13.)

2.3 Valmistus

2.3.1 Koneellisesti

MHM:n perusmateriaali on melko simppele, uunikuivattua ja käsittelemätöntä puuta. MHM-elementtejä valmistetaan puusepän tehtaissa, sahalaiteilla ja muilla puunjalostus toimenpiteillä käyttämällä erikoissuunniteltua järjestelmää tarkoitukseen. Tämä tunnetaan nimellä MHM-tuotantolinja, joka näkyy kuvassa 16. Tuotantoa varten kehitettiin täysin uudet tietokoneohjatut laitteet. Mitään liima-aineita ei käytetä missään tuotannon vaiheessa. Lisäksi tuotantolaitokset ovat jatkuvasti valtuutettujen ja yksityisten järjestöjen ohjauksessa. Arkkitehdin tai rakennesuunnittelijan suunnitelmista MHM-valmistaja valmistaa MHM-seinäelementit käyttämällä suuritarkkuuksista CNC-työstökoneita. Mittapoikkeamat eivät ole kuin ± 2 mm. Luiskat, ovi- ja ikkuna-aukot, sähköjohto sekä putkistorei'itykset ovat tarkasti leikattu ja työstetty. (MHM Planning Manual 2014, 5; hundegger.de/fi.)



Kuva 16. MHM-valmistuslinja (hundegger.de/fi)

Tuotantoprosessi on jaettu kolmeen eri vaiheeseen ja valmistuslinjaan kuuluu kolme eri konetta. Vaiheita ovat raakatavaran uritus ja suoristus, yksittäisten seinäelementtien valmistus sekä viimeistelyvaihe, joka tarkoittaa seinäelementin loppukäsittelyä tarkkamittaisiksi, asennusvalmiiksi rakennosiksi. Valmistuslinjan koneita ovat puolestaan ura- ja ponttiautomaatti, Wandmaster sekä PBA-portaalityöstökeskus. Yleensä Wandmaster ja PBA asennetaan linjaan. Jos tälle ratkaisulle on liian vähän tilaa, on mahdollista työskennellä kulmassa ja siirtää levyt sivusuuntaan kääntyvän laitteen avulla. Ensimmäisessä tuotannon vaiheessa kuivatut laudat uritetaan ura- ja ponttiautomaatissa, mikä myöhemmin mahdollistaa ilmakerroksen valmiissa seinässä ja sen vuoksi antaa paremman eristysarvon kuin täysi massiivipuu. (MHM Planning Manual 2014, 5; hundegger.de/fi.) Urat siis toimivat lisäilmatiivisteinä ja parantavat siten λ -arvoa. Lisäksi jyrsitään sivuttainen puolipontti, joka varmistaa lautojen paremman sivuttaisen yhteen sopimisen ja lujuuden. 23 \pm 2 mm paksuiset sivulaudat syötetään automaattiin ja kahdella kääntöterä-ponttijyrsimellä jyrsitään molemmin puolin puolipontti. Ilmaurat jyrsitään saha-jyrsinkaralla. Laudan paksuutta on mahdollista tasoittaa säädettävällä vaakahöylällä. Jyrsin on täysin ohjattavissa yhdellä henkilöllä. (hundegger.de/fi.) Kuvassa 17 on näkyvissä ura- ja ponttiautomaatti sekä esimerkki urasta ja puolipontista laudassa.



Kuva 17. Ura- ja ponttiautomaatti sekä esimerkki urasta (hundegger.de/fi muokattu)

Toisessa vaiheessa Wandmaster-seinänvalmistuslaite valmistaa yksittäiset laudat puolivalmiiksi seinäelementeiksi, joiden koko on 2 x 2 m:stä 3,25 x 6 m:iin tai 4 x 6 m:iin (MHM Planning Manual 2014, 6). Hundegger on aikanaan valmistanut kaksi erilaista konetta korkeuden puolesta; 3,25 m ja 4 m asiakkaan toiveen mukaan, jonka vuoksi korkeus on valittavissa. Suurimmillaan se on kuitenkin 4 m. Näillä mitoilla on mahdollista rakentaa kaikenlaisia rakennuksia. (König 2019-02-26.) Seinäelementin valmistuspaksuus on 11,5–34 cm. Laudat on puristettu tietokoneohjatusti yhteen ristikkäin ja ne liitetään toisiinsa kerroksittain uritetuilla alumiininauloilla. Kone osaa tunnistaa lautojen leveyden automaattisesti. Optimaalisen lujuuden takaamiseksi laudat asetetaan tarkasti ja naulat lyödään lautojen liitänköhtiin. Wandmaster-laitteessa on varusteluna automaattinen naulojen lajitteleva laite, joka syöttää naulat suurtehoiseen kaksoisnauaimeen yksittäisinä kappaleina. Etuna on se, ettei naulainta tarvitse jälkiladata. Lautojen kiinnitys toisiinsa tapahtuu kerroksittain ja lopputuloksena on homogeeninen MHM-massiivipuuseinä. Yksittäiset laudat asetetaan poikittaiskuljettimelle, jolta ne siirretään automaattisesti Wandmaster-laitteeseen. Yksittäisten lautojen laatu voidaan vielä kerran tarkastaa tässä vaiheessa silmävaraisesti ja automaattisen syötön ansiosta fyysinen työ vähenee. Syöttöjärjestelmä siirtää laudat automaattisesti koneeseen ja ohjain ohjaa laudat tietokoneohjatusti elementin oikeaan kohtaan. Lautakerrokset puristetaan toisiinsa vierekkäin sekä kiinnitetään ristikkäin määritetyn naulauskuviota mukaan. Työstöpöytä laskeutuu hydraulisesti, kun haluttu seinäpaksuus on saavutettu. Elementti on rullilla ja on helppo kuljettaa kohti CNC-portaalityöstökeskukseen työstettäväksi. (MHM Planning Manual 2014, 6; hundegger.de/fi.) Kuvassa 18 on valmistuslinjan Wandmaster-seinänvalmistuslaite.



Kuva 18. MHM-valmistuslinjan seinänvalmistuslaite (hundegger.de/fi)

Wandmaster-seinänvalmistuslaitteen jälkeen puolivalmis elementti kuljetetaan koneellisesti linjassa olevaan PBA-portaalityöstökeskukseen, joka on tuotannon kolmas vaihe (kuva 19). Tässä vaiheessa elementti leikataan kokoonsa ja muotoonsa sekä elementtiin työstetään mahdolliset ovi- ja ikkunaukot. Tietokoneohjattu kone tekee vaaditut poraukset nostoliinoille, urat ja kourut lämmitys-, putkisto- ja sähköasennuksille sekä tekee valmiiksi muut valmistelutyöt asennusta varten. (MHM Planning Manual 2014, 6.) Tällaisia ovat muun muassa liitosruuvien upotusreiät sekä liitoslovet alaohjauspuulle, välipohjalle ja kattorakenteille.



Kuva 19. PBA-portaalityöstökeskus (hundegger.de/fi)

Elementtien mittarajoitukset eivät johdu MHM-tuotantolinjasta, sillä Hundegger voi valmistaa suuremmankin. Yhtenä seikkana ovat elementeissä käytettävät raakalaudat. Niiden tyypillinen pituus on 3; 3,5; 4,2; 4,5; 5; 5,2; 5,5 ja 6 m. Näillä laudoilla voidaan valmistaa seiniä. MHM-rakenteen 6 m:n mitta ei välttämättä myöskään aina ole pituus. Elementtejä voidaan valmistaa korkeudeltaan 6 m:n mittaisiksi ja pituudeltaan 3,25/4 m:n mittaisiksi. Tällöin seinärakenne on siis pyöräytetty 90-astetta ympäri. (König 2019-02-26.) Helamon MHM-info esityksen (2018) mukaan MHM-tuotantoprosessi on yksinkertaisempi kuin CLT-massiivipuu-elementin, sillä siihen ei tarvita vaativaa liimausprosessia ja puutavaran kuivusaste on suurempi MHM:llä. Esityksen mukaan MHM-tuotantolinja tarvitsee Suomessa oman lämpimän tilan sormijatkoslinjalle, jotta lamellipituudet hallitaan. 50 mm paksusta, määrämittaan jatketusta puutavarasta halkaistaan 2 x 25 mm MHM-lamelliaihioita. Lamellihöylä on tavallisesti samassa hallissa ennen MHM-naulauslinjaa. Naulamenekki puolestaan riippuu laudan leveydestä, mikä on keskeinen kustannustekijä prosessissa. (Helamo 2018.) Hundeggerin sivustolta sekä YouTube-videopalvelusta löytyy video MHM-elementin valmistuksesta.

2.3.2 Käsin

Varsinaista MHM-rakennetta ei ole sallittu rakennettavan käsin, sillä käsin ei saada naulattua yhtä tarkasti kuin Wandmaster-seinänvalmistuslaitteella. Myös kustannukset ovat käsin valmistettaessa liian korkeat. (König 2019-02-26.) Jo lautojen leveyksien sovellukset ETA-15/0760 (2018) -arvion ulkopuolelta aiheuttivat CE-merkinnän poisjättämisen, joten myös käsin valmistettaessa tuotetta ei saa CE-merkitä. Tanskasen (2019-02-13) mukaan pieniä omakotitalon kokoisia kohteita on tehty käsin, mutta suuremmissa kohteissa on edullisempaa tehdastoimitus koneellistettuna ja pitkälti esivalmistettuina. Seinien käsin kokoaminen ja naulaus tapahtuvat suoraan paikan päällä valituista laudoista, jotka myös katkaistaan paikan päällä sopivan mittaisiksi. Näin mahdolliset aukkojen hukkapalat voidaan ennakoida katkaisemalla laudat ja täten hukkapaloja ei synny. Katkaistun laudan loppu-

pätkä käytetään myös hyväksi. Tällä tavoin syntyvät hukat ovat hyvin pieniä. Lisäksi myös vinalaudoitusta voidaan käyttää, mutta se vaatii suunnittelua ja tutkimista. Koneellisesti valmistettaessa kuusi metriä on MHM-elementin maksimipituus. Käsini tehtynä paikan päällä tätä rajoitusta ei ole ja elementti voidaan tehdä suunnittelun seinäpituuden mukaiseksi. Naulaus tehdään naulapysyllä ja nauloina käytetään niin sanottuja liimanauvoja. Myös profiloituja nauvoja voidaan käyttää. Naulauskuvio on vakio seinäelementille tulevien rasitusten mukaan ja se myös riippuu laudan pak-suudesta sekä leveydestä. Esimerkkinä se voisi olla kaksi riviä 200 mm:n jaolla.

Elementtien valmistus tehdään käsin sääsuojassa paikan päällä taikka tehtaalla sisätiloissa käsin. Itse rakentaminen tapahtuu elementin valmistustavasta riippumatta myös sääsuojassa ja elementtien asentaminen on samanlainen molemmilla valmistustavoilla. Käsin tehdessä tekijöitä tarvitsee olla enemmän kuin koneellisesti. Tämä tuo lisää kustannuksia käsin tehtyyn elementtiin. Myös valmistus on hitaampaa käsin tehdessä. Puumateriaalina kaikki höylätyt laudat käyvät vakio mitoilla, mutta koneellisesti valmistettujen elementtien mukaisia lautaurituksia ei käytetä. Tällöin U-arvo ei ole yhtä hyvä kuin koneellisesti valmistetun elementin ja U-arvo pitääkin laskea sen mukaisesti. Tuotteena käsintehty MHM-kohteet ovat olleet niin sanottuja koekohteita ja prosessissa on vielä kehitystarvetta. Menetelmällä on kuitenkin rakennettu muun muassa seuraavanlaisia kohteita:

- Kesämökin korotus Savonranta
- Pyöreä varasto Joensuun ammattiopisto Kaislatie
- Teollisuushalli Joroisiin Maavedelle arkkitehti Jouni Heinoselle
- Puutarhamökkejä arkkitehti Heinosen suunnittelemina
- Omakotitalo Lehtinen Klaukkala (Tanskanen 2019-02-13.)

2.4 Käyttökohteet

MHM-tuotteella on laaja käyttöalue. Sitä voidaan käyttää omakotitorakentamisessa yhden tai useamman kerroksen tai paritalon rakentamiseen sekä rivitaloissa, että kerrostaloissa. Myös kunnalliseen käyttöön ne soveltuvat muun muassa esikouluina ja lastentarhoina, hallintotoimistoina, sekä kierrätyskeskuksina. Teollisuustarkoitukseen puolestaan siitä voidaan rakentaa tehdas-, varasto sekä toimistorakennuksiksi. (MHM Planning Manual 2014, 11.) Suurimmat osat rakennetuista MHM-rakennuksista ovat kaksi- tai kolmekerroksisia, mutta myös neljä- tai viisikerroksiset rakennukset ovat mahdollisia (König 2019-02-26). MHM:n sovellutuskohteet ovat suppeampia kuin Suomessa jo tutummaksi tulleen CLT-elementin sovellukset. Mittarajoitustensa vuoksi se soveltuu huonosti valmiiksi tilaelementeiksi, mutta pienempiä tilamoduuleita voi valmistaa. MHM-massiivipuulementtejä voidaan hyödyntää kaikissa pystysuuntaisissa rakenteissa kuten ulkoseinissä, väliseinissä ja asuntojen välisissä seinissä kantavina tai ei-kantavina. (Helamo 2018.) 5-lautakerroksen MHM-seinää voidaan käyttää kantavana seinänä ja MHM-seinät ovatkin kantavia lautakerrosten lukumäärän ollessa 5–15 (König 2019-02-26). Sitä voidaan myös käyttää palomuurina ja meluaitana (Helamo 2018).

MHM ei siis sovellu laataksi väli- tai yläpohjiin eikä palkiksi, sillä elementin leikkaus ei ole riittävä. Lautojen ollessa lappeellaan elementti taipuu liiaksi eikä liitosta voida hyödyntää. Naulausliitos ei ole

riittävän hyvä ja leikkauskapasiteetti ylittyy, jolloin elementti myötää niin, että se taipuu liikaa. Myös puun ominaisuudet syytä vastaan ovat huonommat kuin poikkisuuntaan. Tällöin huomioidaan vain ne laudat, joiden syyt ovat jännevälän suunnassa. Liimatulla CLT-elementillä ominaisuudet ovat hie- man paremmat ja laattoina hyödyntäminen onnistuu, koska lamellit on liimattu yhdeksi jäykäksi ra- kenteeksi. (Tanskanen 2019-02-13.) Käytännössä sellaisenaan CLT-välipohjan jänneväli voi olla vain kuusi metriä Suomen tiukkojen värähtelykriteerien vuoksi (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela, Viljakai- nen 2013, 44). MHM-järjestelmän sisartuotteena on PHE-elementti, jota voidaan käyttää esimerkiksi ala-, väli- ja yläpohjissa vaakarakenteena. Tässä rakenteessa laudat ovat syrjällään vierekkäin ja ne ovat myös liitetty toisiinsa mekaanisesti nauloilla. (MHM Ecological and individual 2018, 11.) MHM- seinäelementissä ikkuna- ja oviaukon ylityspalkkina voidaan kuitenkin hyödyntää MHM-rakennetta (König 2019-02-26). MHM-menetelmällä voidaan rakentaa siis miltei mitä tahansa, mutta tarkka suunnittelu ja toteutus eri rakenneratkaisujen sekä rakennusmateriaalien välillä on tärkeää sovittaa toisiinsa.

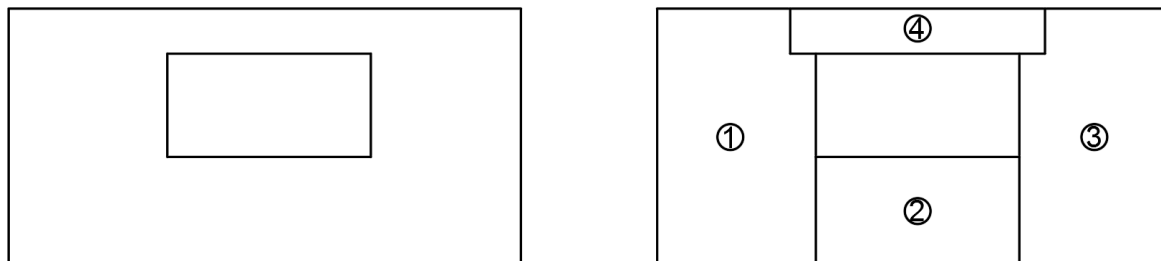
2.5 Suunnittelu ja mitoitus

2.5.1 Lähtötiedot

MHM-elementtien suunnittelun aloittamisessa on hyvä ottaa selville lähtötiedot sekä mahdolliset ra- joitukset sekä määräykset. Näitä ovat muun muassa rakennuksen ja rakenteen paloluokka, ääne- neristys- sekä U-arvo vaatimus. Myös MHM-tuotantoprosessi asettaa suunnittelulle rajoitteita, kuten elementtien maksimimitat; maksimikorkeus on 4 m ja maksimipituus on 6 m. Elementin paksuus voi vaihdella, mutta kerroksia on oltava vähintään 5 ja niitä voi olla jopa 15. (ETA-15/0760 2018, 14.) MHM-elementin käyttökohteet on tiedostettava ja on mietittävä sen kanssa yhteensovitettavat ra- kenteet. MHM-elementin ulkopintana on mahdollista käyttää eri lautasia kuin muut lautakerrokset. Tässä tapauksessa lasketaan kuitenkin vain 23 mm:n kerrokset staattisesti merkityksellisiksi lauta- kerroksiksi. Jokainen asiakas tai arkkitehti voi kehittää oman seinärakenteensa. Mikäli sovittaa MHM- järjestelmän esimerkiksi betonin kanssa, on tutkittava, toimiiko kyseinen rakenne vai ei. Lasken- nassa voidaan hyödyntää tietokoneohjelmia kuten Glaser:ia tai WUF:ia. (König 2019-02-26.)

Elementit voivat olla hyvinkin pieniä ja MHM-seinärakenteissa sovelletaankin niin sanottua palapeli- menetelmää, jossa aukkopaloja hyödynnetään (Helamo 2018). Aukkopalat ovat hukkaa, jota voi- daan vähentää tarkalla suunnittelulla. Mikäli aukkopaloja syntyy, niille olisi hyvä kehittää hyötykäyt- tää esimerkiksi pienempään piharakennukseen. Kuvassa 20 on esitetty kaksi vaihtoehtoista tapaa seinäelementin suunnittelulle. Vasemmalla olevasta kuvasta syntyy aukkopala, jolle olisi hyvä olla valmiina käyttökohde. Myös aukon yläreunan kantavuus on kysymysmerkki ja vastaavassa tilan- teessa CLT-elementillä sääntönä on, jos aukon leveys b on suurempi kuin kaksi kertaa yläpuolisen osan korkeus h , niin aukon yläpuolinen osa mitoitetaan palkkina. Jos näin tehdään, on huomioitava, että vain vaakalaudat voidaan laskea kantavaksi palkiksi. (Mylly 2017.) Vaihtoehtoinen menettely on muodostaa seinä useammasta pienestä elementistä. Ikkunoiden välissä onkin usein pienempiä ele- mentin palasia (König 2019-02-26). Tällöin aukkojen sahausista ei synny hukkaa elementin valmis- tusvaiheessa. Ikkuna-aukon ylityselementteihin on sallittua käyttää MHM-rakennetta. Mitoituksessa

on myös sallittua käyttää tässä tapauksessa lautoja kahdessa eri suunnassa. Esimerkiksi viiden lauterroksen MHM-elementti sisältää kolme pysty- ja kaksi vaakalautaa. Nämä kaksi vaakalautaa ovat vastuussa kuormien kantavuudesta. Valmistajan mitoitusyökalussa voidaan vaihtaa ikkuna-aukon ylityspalkin uloimmaisten lautojen suuntaa pystysuorasta vaakasuoraan. (König 2019-02-26.) Yläosa voidaan korvata myös esimerkiksi liimapuupalkilla.



Kuva 20. Elementtien suunnittelun vaihtoehtoja

MHM-elementtejä voi valmistaa joko kantavina tai ei-kantavina seinäelementteinä (ETA-15/0760 2018, 3). Kantavina linjoina ovat tavallisesti ulkoseinät sekä osa väliseinistä. Kantavina väliseinäinä käytetään yleensä paksuja huoneistojen välisiä seiniä, palo- ja ääneneristysten vuoksi. Huoneistojen sisäisiä kantavia väliseiniä on syytä välttää, sillä ne tekevät asunnon muuntomahdollisuuksista vaikeampia. Puukerrostaloissa kantavien väliseinien tarpeellisuuteen vaikuttavat kantavien vaakarakenteiden jännevälit sekä rakennuksen runkojärjestelmä. (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela, Viljakainen 2013, 39, 60.) Suunniteltaessa kantavaa elementtiä, vähimmäispaksuuden on oltava viisi kertaa laudan paksuus ja MHM-rakenteen laudan leveyden ja paksuuden suhteen tulee olla suurempi tai yhtä suuri kuin neljän suhde yhteen. (ETA-15/0760 2018, 14; König 2019-02-26.) MHM-elementtien mitoitukseen löytyy hyödyllistä tietoa ETA-15/0760 (2018) -arvion liitteistä, jotka löytyvät myös tämän opinnäytetyön liitteestä 2.

Puurakenteiden mitoitus lasketaan eurokoodeilla: EN 1990 Suunnittelun perusteet, EN 1991 Rakenteiden kuormitukset ja EN 1995 Puurakenteiden suunnittelu. Lisäksi myös standardien kansalliset liitteet on huomioitava. Mitoittaessa puurakenteita on huomioitava rakenteiden käyttöluokat ja kuormituksen aikaluokat, jotka molemmat vaikuttavat halutun puutavaran sekä liitosten lujuusmitoitustarvoihin. (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela, Viljakainen 2013, 86.) MHM-seinäelementti on tarkoitettu käytettäväksi EN 1995-1-1 standardin mukaan käyttöluokissa 1 ja 2 alhaisella ja kohtaisella altistumisella korroosiolle (korroosioluokat C1, C2 ja C3 EN 12944-2 standardin mukaan) (ETA-15/0760 2018, 3). Rakenteet jaotellaan käyttöluokkiin 1, 2 tai 3. Käyttöluokkajärjestelmän tarkoitus on lujuusarvojen jaottelu sekä määritellyissä ympäristöolosuhteissa aiheutuvan muodonmuutoksen laskeminen. Käyttöluokkaan 1 kuuluu puurakenne, joka sijaitsee lämmitetyssä sisätilassa tai vastaavassa kosteusolosuhteessa. Siihen luetaan yleensä myös eristekerroksessa olevat rakenteet ja palkit, joiden vetopuoli on eristeen sisällä. Käyttöluokkaan 2 kuuluu ulkona kuivana oleva puurakenne. Puurakenteen pitää olla tuuletetussa sekä katetussa tilassa ja alta sekä sivuilta suojattu kastumiselta. Yleensä käyttöluokkaan 2 kuuluvat rossipohjan eli ryömintätilallisen alapohjan sekä kylmän ullakkotilan puurakenteet (Eurokoodi 5 puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje, 15).

2.5.2 Suunnitteluesimerkit

MHM-elementtejä voidaan käyttää monissa eri kohteissa. Suunnittelun helpottamiseksi muutamia yleisimpiä seinärakenteita on esitetty liitteessä 3. Myös seinärakenteen ominaisarvot on kerrottu. Sillä verhottu julkisivu on yleisin tapaus, esimerkit sisältävät levyverhouksen. Myös puuverhous, verhouselementit, muuraus tai muut verhoukset ovat yhtä lailla toteutettavissa. Koska rakennustilanteita ja -mahdollisuuksia on monia, vain muutamia rakenneratkaisuita esitetään. Oleellista ovat päällystetty rakenne ja kerrospaksuudet, jotka vaihtelevat tilanteiden mukaan. Yksityiskohtaisempia suunnitelmia löytyy liitteestä 4. Liitteiden suunnitteluesimerkit ovat mahdollisia suunnitteluratkaisuita MHM-elementtien käyttämiseen. Ne ovat tarkoitettu rakennesuunnittelun avustamiseksi, eivätkä korvaa yksilöllisiä olosuhteita eikä niiden tutkimista tai harkintaa. Sillä yleistä eikä maailmanlaajuista ratkaisua ole rakennusten suunnitteluun, suunnittelijoiden täytyy aina tarkkailla rakennuslainsäädäntöä sekä siihen liittyviä vaatimuksia ja asetuksia. Tämän vuoksi Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH ei ota mitään vastuuta liitteissä olevista suunnitelmista. Jotkin suunnitteluesimerkit sisältävät ehdotuksia mahdollisista suunnitteluratkaisuksista, joilla pyritään parantamaan ääneneristystä, ilmatii- viyttä tai paloturvallisuutta. Nämä ehdotukset eivät välttämättä kuitenkaan tarjoa riittävää turvallisuutta tai varmuutta ja ne täytyy selvittää ennen niiden hyväksyntää ja käyttöönottoa. (MHM Planning Manual 2014, 15, 33.) Valitettavasti suunnitteluesimerkkejä ei ole saatavilla DWG-muodossa valmistajan sivuilla.

2.5.3 Staattinen kuormituskyky

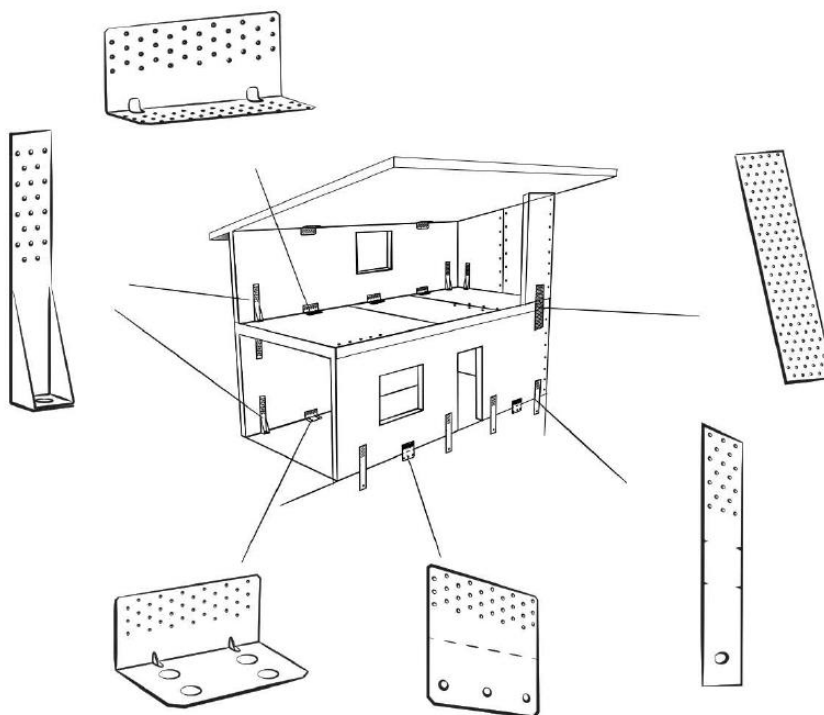
Staattisen kuormituksen laskelmien helpottamiseksi, Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH tarjoaa Excel-pohjaisen työkalun mitoittamaan kantavia seiniä sekä aukon ylityspalkkeja MHM-rakenneosilla. Mukana tulee englanninkielinen opas, joka tarjoaa lyhyen ja selkeän ohjeistuksen sen käyttämiseen. Laskentatuen ja käyttöoppaan voi ladata ilmaiseksi kirjautumalla Massiv-Holz-Mauer:in sivuille ja sieltä asiantuntija välilehdeltä latausportaaliin. Ladattavana ovat muun muassa raportit ilmaääneneristävydestä sekä paloturvallisuudesta, kun elementin paksuus on 16 cm sekä 20 cm. Lisäksi ladattavissa on suunnitteluopas, ETA-15/0760 (2018) -arvio tuotteesta liitteineen sekä U-arvo laskuri. U-arvo laskentataulukkoa käytetään seinärakenteen kokonaispaksuuden, U-arvon sekä tilavuuslämpökapasiteetin, kuten myös jäähtymisajan laskemiseen ja siinä voi hyödyntää jopa kuutta eri rakennusmateriaalikerrosta. MHM-rakenneosien laskentataulukot pohjautuvat EN 1995-1-1 standardiin ja niiden välilehdiltä voi katsoa tarkemmat laskelmat. Tämän opinnäytetyön liitteestä 5 löytyy laskentaohjelmien käyttöopas suomennettuna. Suomentaessa työkalun mitoitusohjeita sahatavaran materiaaliominaisuuksista löytyi kuitenkin virheitä, sillä laskentapohja on luotu 2005, jonka jälkeen sahatavaran ominaisuudet ovat muuttuneet eurokoodin päivittyessä. Tulevaisuudessa mitoitus työkalut muutetaan kehittyneempiin työkaluihin. Tällä hetkellä kehitteillä on jäykkymatriisi FEM-ohjelmistolle. Matriisin ja mitoitus työkalujen valmistuminen vie kuitenkin aikaa. (König 2019-02-26.)

2.5.4 Jäykistys ja ankkurointi

Asuinpuukerrostalossa melkein kaikki kantavat ulkoseinät sekä huoneistojen väliset seinät toimivat jäykistävinä rakenteina. Kuten CLT-elementti, MHM-rakenteinen seinä toimii sellaisenaan jäykistävänä sekä pystykuormia kantavana rakenteena. Jäykistävät pystyrakenteet rakennetaan jokaisessa kerroksessa päällekkäin, jotta pysty- ja vaakakuormat saadaan siirrettyä suoraviivaisesti perustuksille ja luonnollisesti kuormat kasvavat alimmissa kerroksissa. (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela, Viljakainen 2013, 92; König 2019-02-26.) Pystykuormat muodostuvat rakenteiden omasta painosta, hyötykuormasta sekä lumikuormasta. Vaakakuormat tulevat ulkoisista vaakakuormista, kuten tuulikuormasta sekä rakenteiden asennusvinoudesta johtuvista pystykuormien aiheuttamista lisävaakavoimista. (Laakkonen 2016.) Lisävaakavoimat muodostuvat rakenteiden omasta painosta, johon huomioidaan kantavien ulkoseinien omapaino sekä väli- ja yläpohjan painot.

Jäykistystä ajatellen, talon rungon olisi hyvä olla poikkisuunnassa mahdollisimman syvä. Tällöin jäykistävästä seinistä saadaan tehtyä pidempiä ja seinän ankkurointivoimat voidaan minimoida. Jäykistävien seinien mahdollisia ankkurointivoimia voidaan pienentää suunnittelemalla vaakarakenteet siten, että ne tuovat mahdollisimman paljon omaa painoa jäykistäville pystyrakenteille. Tämä vähentää tarvittavaa ankkurointivoimaa tai kumoaa sen kokonaan. (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela, Viljakainen 2013, 92.) Ankkurointimitoitus tehdään kaatumista sekä vaakasuuntaista liukumista vastaan. Mikäli jäykistysseinään vaikuttavat pystykuormat ovat pienempiä kuin nostavaa voimaa aiheuttava vaakakuorma, on päällekkäisten seinien välille tehtävä vetovoimia välittävä liitos. Kaikki jäykistävän seinälinjan seinät täytyy ankkuroida alla olevaan rakenteeseen ja alin seinä lopulta perustuksiin. Koska puurakenteet ovat kevyitä, jäykistäville seinille tuleva pystykuorma jää usein liian pieneksi verrattuna vaakakuorman kaatavaan voimaan. Jäykistävien pystyrakenteiden välinen veto pitää sitoa ankkurointiliitoksella. (Laakkonen 2016.)

Yleensä ankkuroinnit kaatumista vastaan tehdään teräksisillä reikälevyillä sekä kulmarauodoilla, jotka kiinnitetään puuelementtiin ankkurinauloilla. Ankkurointiliitokset voidaan myös tehdä kierretankojen avulla kerroskohtaisesti tai kerrostasojen yli jatkuvana. Niiden etu on se, että niitä voidaan tarvittaessa kiristää jälkikäteen. (Laakkonen 2016.) Ankkurointi liukumista vastaan alimmassa kerroksessa hoidetaan yleensä kiila-ankkureilla, joita sijoitetaan pitkin jäykistävää seinää mitoitus tuloksen k-jakojen avulla. Ylemmissä kerroksissa ankkuroinniksi liukumista vastaan riittänee alajuoksun naulaus välipohjaan. (Toratti 2001, 40.) Ankkurointiliitokset on syytä tehdä mahdollisimman lähelle puuelementin reunoja, jolloin ankkurointivoiman momenttivarsi olisi mahdollisimman pitkä ja itse ankkuroitava voima mahdollisimman pieni (Laakkonen 2016). Kuvassa 21 on veto- ja leikkausvoimien ankkurointiin käytettyjä teräsosia. Perinteisten liitosien lisäksi markkinoilla on ainakin CLT-rakenteille kehitettyjä liitosjärjestelmiä. Esimerkiksi Rothoblaas yrityksen X-RAD järjestelmä, jossa seinien nurkkiin asennetaan X-ONE-liitososa, jotka voidaan liittää toisiinsa niihin sopivien erillisten levyosien avulla. (Laakkonen 2016.) Rakennus olisi kuitenkin suositeltavaa suunnitella siten, ettei ankkurointitarvetta tulisi ollenkaan, sillä ankkurointirakenteet ovat kustannuksiltaan kalliita (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela, Viljakainen 2013, 92).

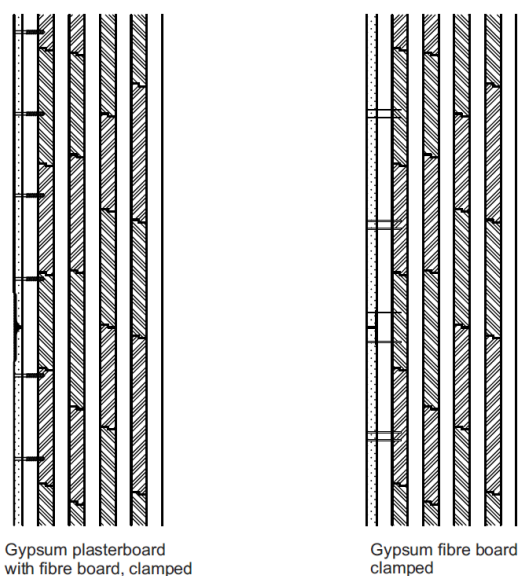


Kuva 21. Ankkurointiin käytettäviä teräsoasia (Laakkonen 2016)

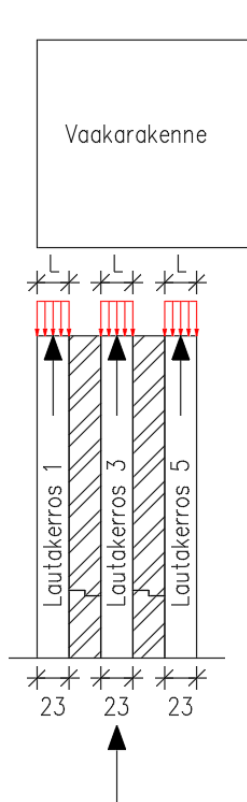
2.5.5 Muuta huomioitavaa

Tavallisesta mitoituksesta ja laskemisesta poikkeavia tietoja ja yksityiskohtia on kirjattu tähän kappaleeseen. Kaikki kiinnitetyt esineet, joihin kohdistuu vetojännityksiä, on jokaisessa tapauksessa kiinnitettävä MHM-seinäelementtiin, jonka ankkurointisyvyys on vähintään kolme lautakerrosta. Painaville tavaroille syvämpi ankkurointi täytyy olla järjestettävissä. Tämä viittaa muun muassa keittiökaluusteisiin, kuumavedenvaraajiin, kaiteisiin ja tukitankoihin. Kahden MHM-seinäelementin tai MHM-seinäelementin ja massiivipuun, liimapuun tai teräslevyn liittämiseen tarkoitettujen kiinnittimien suunniteltu vähimmäistunkeutumisen on 12 kertaa liittimen halkaisija. (ETA-15/0760 2018, 3, 23) Tästä on esimerkki kuvineen liitteessä 2. Ilman lisätarkastusta vaakaleikkauksvoimakestävyytenä vähintään yhdeksän lautakerroksen MHM-elementille voidaan pitää $R_{v,k} = 2,75 \text{ kN/m}^2$ (ETA-15/0760 2018, 22).

Sisäverhouksien asennuksessa kaikki verhoustyöt tulee suorittaa valmistajan ohjeiden mukaisesti. Ruuvataessa tai nidottaessa verhouslautoja, esimerkiksi kipsilevyjä, kuitulevyjä tai puupaneloinnin koolauksia, kiinnikkeiden tulee olla materiaalille sopivia ja niiden täytyy tunkeutua vähintään kahteen MHM-rakenteen puukerrokseen, kuten kuvassa 22. (MHM Planning Manual 2014, 70.) Rakennetta mitoittaessa on otettava huomioon lautojen kohtisuoruus toisiinsa nähden. Poikkileikkauksen ominaisarvojen laskemiseksi voidaan käyttää vain lautoja, jotka ovat suunnattu mekaanisen vaikutuksen suuntaan esimerkiksi tukipainekestävyyden tarkastelussa. Samoin toimitaan myös liimalla liitetyn CLT-elementin kanssa, joten varsinaisesti uudesta asiasta ei ole siis kyse. Kuvassa 23 on esitettyä tukipainekestävyyden mitoituksen periaate huomioimalla lautojen ristikkäinen rakenne.



Kuva 22. Verhouksen kiinnityssyvyys (MHM Planning Manual 2014, 70)



Kuva 23. Esimerkki tukipainekestävyyden mitoituksen periaatteesta

2.6 MHM ja CLT vertailua

Seuraavana käsitellään MHM ja CLT-elementtien vertailua. Vertailu perustuu Helamon MHM-infoa esityksen (2018) materiaaliin ja on täysin puolueeton, sillä materiaalin tekijä ei ole kummankaan rakennetuotteen agentti. Vertailussa keskitytään lähinnä liiketoiminnallisiin näkökohtiin. MHM-tuotantolinjan aloituskynnys on helpompi, koska sen investointi on halvempi eikä liimausta tai liimasauman delaminointitestausta tarvita. Suomessa MHM-rakenteelle ei vielä ole vakiintunutta hintatasoa. CLT-elementtiin verrattuna sen hinta on kuitenkin noin 15–20 % alhaisempi, mikä tuo tietyissä raken-

teissa kilpailuedun MHM-rakenteelle. Alempi hinta johtuu MHM:n yksinkertaisesta tuotantoprosessista. Kaikesta huolimatta investointi ei ole MHM:llä suuri ja oikein markkinoituna referenssi kohteet löytyvät, mikäli lanseeraus hoidetaan oikein. CLT:llä puolestaan investointi on suurempi, mutta markkinat ovat jo olemassa ja vahvassa kehitysvaiheessa. MHM-liiketoimintaa aloittava on Suomessa pioneerin roolissa ja vastustajia tai mustamaalajia voi ilmetä. MHM-lanseeraus voi kestää vuosia. Toisaalta CLT-liiketoimintaan ryhtyvällä on jo kilpailevia kumppaneita. MHM-järjestelmälle voi kuitenkin löytyä jopa kumppaneita CLT:n sovellutuksissa. (Helamo 2018.)

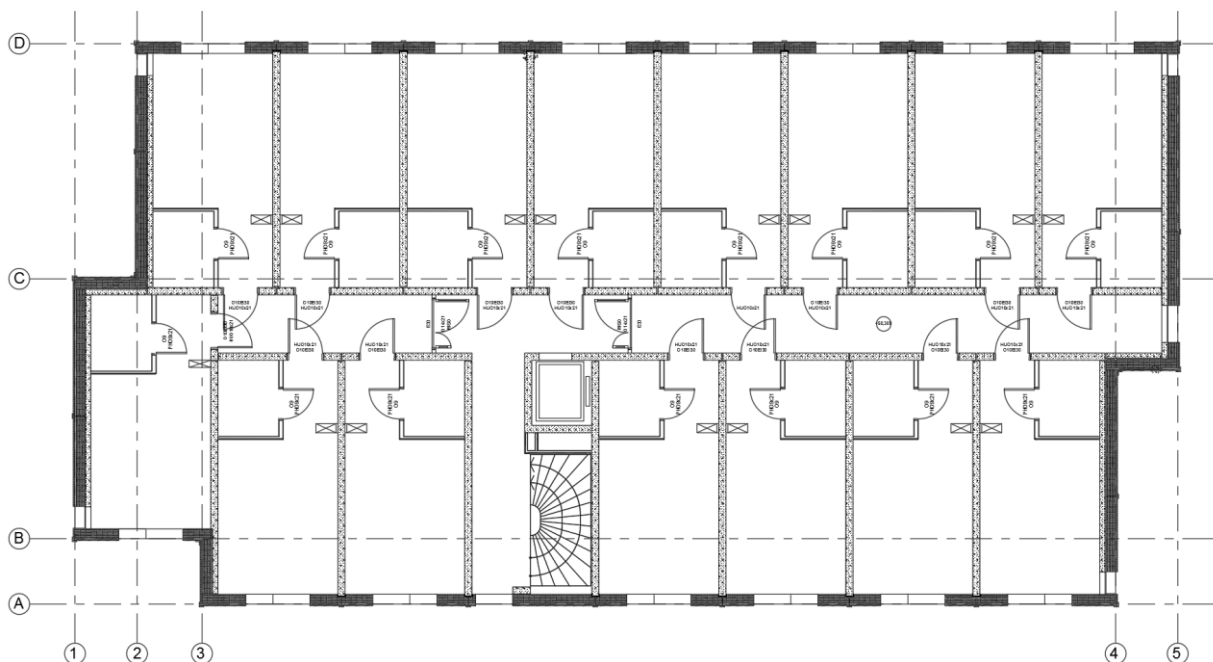
CLT-järjestelmän teollinen prosessi on monimutkaisempi, kuin MHM:n, koska siihen kuuluu liimausprosessi ja puutavaran kuivuusaste on oltava noin 10 % tai alhaisempi. MHM-puutavaran kuivuusaste on 15 % (± 3 %), jolloin puutavaran varastointi ei aseta kovin suuria vaatimuksia. Tuotantotilojen kokovaatimus on myös MHM-järjestelmällä pienempi kuin CLT-elementeillä. MHM-tuotannon helppo hallinta perustuu siihen, että prosessissa on käytännössä vain kolme vaihetta ja konetta, eikä prosessi ole kovin häiriöherkkä. CLT-järjestelmän tuotannon hallinta vaatii osaavaa tuotannon suunnittelua, sillä valmistusvaiheita on enemmän ja siihen sisältyy juurikin vaativa liimausprosessi, joka sisältää myös liimauksen kuivumisen. Liimauksesta tekee vaativan muun muassa tuotantohallinnan tarkka olosuhteiden hallinta lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vuoksi. (Helamo 2018.) Liimaus vie myös kauemmin kuin koneella tapahtuva naulaus, joka on ohjelmoitu valmiiksi.

MHM-seinäarakenteen lämmöneristys on hieman parempi, kuin CLT-rakenteen, koska lautojen uritus sitoo ilmaa rakenteen sisälle. CLT-ratkaisu on kuitenkin käyttötarkoituksiltaan monipuolisempi, sillä sitä voi käyttää myös vaakarakenteena. (Helamo 2018.) MHM-järjestelmällä on oma PHE-tuotteensa välipohjiin, joka myös perustuu mekaanisesti liitettyihin lautoihin. MHM-järjestelmällä lautakerroksien lukumäärä on aina pariton, mutta CLT:n levypaksuus on helpommin muutettavissa, koska lamellikerroksien paksuus on vapaavalintainen. Myös CLT-elementin pituus voi olla suurempi, kuin MHM-elementin rajoitettu kuusi metriä. Tämän vuoksi CLT:llä on paremmat edellytykset suur- ja tilaelementeiksi. MHM-elementointi perustuu pieniin elementtiosioihin. MHM-seinäelementin valmis pinta on karhea ja miltei aina verhous on toivottu. CLT-puolestaan tarjoaa dekoratiivisen pinnan, jos levyt on myös syrjäliimattu. Syrjäliimaamatonta elementtiä ei suositella näkyväksi pinnaksi. (Helamo 2018.)

Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH:n toimitusjohtaja Rainer Königin mukaan MHM-rakennetta on parempi verrata tiilirakenteeseen. Hänellä itsellään ei ole paljoa kokemusta CLT-elementeistä, eikä hän haluaisi, että tuotetta verrattaisiin siihen, sillä tuote on aivan erilainen. MHM-järjestelmä on kehitetty ilman liimaa ja se tarjoaa selvän järjestelmän tiilirakenteiden kaltaisilla seinäpaksuuksilla materiaalin ollessa puuta. (König 2019-02-26.) Varmaa kuitenkin on, että tuotteita vertaillaan ja tullaan vertailemaan, sillä molemmat ovat kuitenkin massiivipuulementtejä ja omaavat samoja ominaisuuksia olemalla juuri puuta.

3 AS OY NURMIJÄRVEN HERTTUATAR

Tässä kappaleessa käsitellään Insinööritoimisto Tanskanen Oy:n projektia. Projektikohteena on neljäkerroksinen kerrostalo – As Oy Nurmijärven Herttuatar – Klaukkalaan, jossa käytetään MHM-elementtiä ulkoseinissä ja se ottaa vastaan tuulikuorman. Jäykistys on betoniseinillä ja väliseinät ovatkin betonia. Päärakennesuunnittelijalla oli tehtävänä rungon jäykistys. Betoniseinät ovat myös kantavuuden vuoksi suunniteltu. Betoninen sisäkuori kantaa ontelolaattoja. Sisäkuorien pitää olla riittävän kuiva ennen MHM-puuelementin asennusta. Projekti on ollut ja on yhä kehitystyöprojekti, jossa Jouko Tanskanen Insinööritoimisto Tanskanen Oy:ltä toimii vastaavana elementtisuunnittelijana ja projektipäällikkönä on Ilkka Kuningas Rakennusvarmalta. Pääsuunnittelusta vastaa Arkkitehtikolmio Oy Pauli Tuomanen Tampereelta ja rakennesuunnittelijana toimii ET-Suunnittelu Oy, Mikko Suomalainen Helsingistä. Kehitystyön tarkoituksena oli kehitys urakoitsijan uudelle tuotteelle ja projekti alkoi vuonna 2018. Rakentamista ei ole aloitettu ja suunnittelut ovat vielä kesken. Tarkkaa aikataulua ei ole ollut, eikä sitä tälläkään hetkellä ole. Suunnittelutyö on tilauksen mukaan tehty ja tällä hetkellä odotetaan tilaajan kommentteja. Insinööritoimisto Tanskanen Oy:n osaamisena oli jo aiemmin suunniteltuina vastaavia rakenteita noin kuusi kohdetta ja yritykselle tuli suunniteltavaksi 3d-malli sekä 2d-kuvat kuten, pohjapiirros, leikkaukset, rakennedetaljit sekä elementtikuvat. (Tanskanen 2019-02-13.) Kuvassa 24 on tasokuva rakennuksesta.



Kuva 24. Tasopiirros As Oy Nurmijärven Herttuattaresta (Insinööritoimisto Tanskanen Oy muokattu)

MHM-elementissä pitää olla pariton määrä lautakerroksia, jotta uloimmat kerrokset kulkisivat samansuuntaisesti. Projektikohteessa ristiin ladottuja lautakerroksia oli 11 kappaletta, mutta uloimmainen lautakerros oli eri mitoilla sekä myös eri materiaalia. Sisältä katsottuna ensimmäiset kymmenen lautakappaletta olivat mitoilla 24x150 mm. Uloimmaiseksi kerrokseksi on suunniteltu haapaa 30x120 mm, jonka päälle tulisi vielä pystykoolaus ja julkisivuverhous. MHM-elementtiin haluttiin erillinen ulkoverhouslauta, jonka taakse suunniteltiin pystykoolaus, vaikka MHM-elementin suunnitteluohjeen mukaan verhous voitaisiin asentaa suoraan elementtiin. Koolaus suunniteltiin, sillä siten julkisivu toimii paremmin seinärakenteen suojana ja ilma pääsee paremmin kiertämään. Myös lehtikuusta on

käytetty julkisivussa, sillä se kestää hyvin ulkoilmaa ja vettä. (Tanskanen 2019-02-13.) MHM-seinän rakenne tulee miettiä aina kohdekohtaisesti. Väli- ja yläpohjarakenteet ovat suunniteltu toteutettaviksi ontelolaatoilla ja kantavat väliseinät ovat betonia. Kevyet väliseinät ovat suunniteltu rankarakenteisina. Projektissa esille nousseita asioita ovat olleet MHM-elementtien valmistuksessa syntyvät hukkapalat ovi- ja ikkuna-aukoista, joille suunniteltiin hyötykäyttöksi asemakaavassa näkynyt MHM-rakenteinen autokatos. Viimeisimpänä asiana on noussut esille MHM-elementtien suunnittelu, siten että yksi elementti koostuisikin kolmesta yksittäisestä elementistä, jolloin aukkopalojen syntyä voitaisiin vähentää.

4 HAASTEET JA RATKAISUT

Tässä kappaleessa käsitellään MHM-järjestelmän haasteita sekä niiden mahdollisia ratkaisuita. Kaikkiin haasteisiin tai kysymyksiin ei vielä ole valmiita vastauksia, joten kysymykset jäävät avoimiksi. Suunnittelun kannalta haasteena on MHM-runkojärjestelmän puuttuminen (Tanskanen 2019-02-13). RunkoPES eli avoin puuelementtirakentamisen teollisuusstandardi pitää sisällään puuelementtirakentamisen yleiset suunnitteluperiaatteet sekä suositukset. Sen tarkoituksena on sujuvoittaa sekä yhdenmukaistaa puurakenteiden tuotantoprosessia ja suunnitella rakennus ottamatta kantaa rakennuksen toteuttajaan. Myös eri valmistajien rakenneratkaisut ovat tarpeen tullen liitettävissä toisiinsa. (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela, Viljakainen 2013, 34, 36.) MHM-elementille olisi hyödyksi kuulua tähän puuelementtistandardiin. Se yhdenmukaistaisi muun muassa rakenteiden yhteensovitettavuutta, sillä itse MHM-elementtiä ei voida käyttää laattana ja muita rakenneratkaisuita on tällöin käytettävä. Valmistajalla on toki myös oma PHE-laattaelementti, jota voi hyödyntää vaakarakenteissa. Pienet elementtimitat sekä usein myös varsin pienet elementit ovat haastavia suunnittelun kannalta. Toisaalta huolella suunniteltuna aukkopaloista syntyvä hukka voidaan myös minimoida tai poistaa kokonaan. MHM-elementin pinta on suoraan sanottuna karhea, joten se halutaan miltei aina verhoilla (Helamo 2018). Toisaalta verhoilun avulla palo- ja äänitekniset ominaisuudet paranevat verhouksen avulla. Mikäli MHM-seinän pinta kuitenkin miellyttää verhous ei ole pakollinen, jos vain paloturvallisuus sen sallii.

MHM-levyille ei ole tällä hetkellä yleisiä mitoitusohjeita, joten mitoitus perustuu valmistajan ohjeisiin. Mitoitusohjelmat ja -taulukot puuttuvat ainakin vielä toistaiseksi, mikä lisää suunnittelutyötä (Tanskanen 2019-02-13). Mitoituksessa voidaan kuitenkin hyödyntää voimassa olevia eurokoodeja, mutta yksityiskohtaisemmat ohjeet olisivat hyödyksi omien kansallisten liitteiden kanssa. Suomessa ei myöskään ole vielä vakiintunutta hintatasoa MHM-järjestelmälle, mutta CLT-elementtiin verrattuna hinta on kuitenkin hieman alhaisempi (Helamo 2018). Myös järjestelmän tutkimus- ja kehitystyö maksaa, jonka vuoksi tuotetta käytetään vielä varsin vähän (Tanskanen 2019-02-13). Kehitystyö on kuitenkin tärkeää, jotta saamme lisää tietoa ja uusia rakenneratkaisuita markkinoille. Tietoisuus on kuitenkin tuotteesta Suomessa vielä vähäinen, eivätkä monet uskalla lähteä kokeilemaan uutta tuotetta. Rakennejärjestelmän asema Suomessa on uusi ja muut kilpailijat ovat tältä kannalta etulyöntiasemassa. Oikealla markkinoinnilla tuote voidaan saada kuitenkin parempaan tietoisuuteen. (Helamo 2018.)

CLT-elementti on ollut jo pidempään markkinoilla ja sille on kehitetty erilaisia komponentteja ja rakenneosia sekä -ratkaisuita. MHM-elementtejä ajatellen olisi hyödyllistä, jos näitä olemassa olevia ratkaisuita voitaisiin soveltaa. Soveltaminen on aina hyvä varmistaa tuotteen valmistajilta. Myös sähköisessä muodossa oleva detaljikirjasto sekä komponentit 2d sekä 3d mallinnustyökaluihin, kuten myös mitoitus työkalujen kehitys olisi hyödyllistä tulevaisuudessa. Mahdollisesti tuotannosta syntyvien aukkopalojen hyötykäyttö on aina projektikohtainen kysymysmerkki, johon ei ole yksiselitteistä vastausta.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoitus oli käsitellä MHM-elementtien ominaisuuksia, valmistustapaa, käyttökohteita sekä kertoa sen hyödyistä ja haasteista. Tämän pohjalta syntyi tietopaketti, joka on hyödynnettävissä järjestelmällä suunniteltaessa. Lisäksi saatiin kerrottua suunnittelusta ja tuotetta vertailtiin CLT-elementtiin. Liitteeksi saatiin kasattua hyödyllinen detaljikirjasto tuotteen omasta suunnitteluohjeesta sekä käännös mitoitusyökaluiden ohjeista. MHM-tuotteesta ei aikaisemmin ole kirjoitettu insinöörityötä ja toimeksiantajankin puolesta minulla oli melko vapaat kädet. Työstä tulikin niin sanottu oman näköinen, mutta henkilökohtaisesti olen siihen tyytyväinen. Tietoa saatiin kaivettua hyvin esille, vaikka sen löytäminen takkuili alkuun. Tietoa oli sinänsä kuitenkin rajallisesti ja tarvittaessa kysyttiin ammattihenkilöiltä neuvoja omiin kysymyksiin.

Työssä melko tuntematon rakenneratkaisu pyrittiin tuomaan esille. MHM-järjestelmä on varteenotettava ratkaisu käytettäessä puuelementtejä. Elementtien mitat ovat rajoitettuja ja suunnittelu perustuu niin sanottuun palapelimenetelmään, jossa aukkopaloja hyödynnetään. Käyttökohteet ovat myös suppeammat kuin esimerkiksi CLT-elementillä, mutta kustannukseltaan MHM-järjestelmä on hieman alempi. Myös valmistusaika on nopeampi, sillä liimaa ei käytetä eikä kuivumista tarvitse taten odottaa. Elementtien valmiusaste voidaan viedä tehtaalla pitkälle ja niiden asentaminen on nopeaa. MHM-järjestelmä on Suomessa vielä pienessä asemassa, mutta oikealla markkinoinnilla tuote voidaan saada kuitenkin parempaan tietoisuuteen.

Lähdemateriaali oli pääsääntöisesti englanniksi, joten työssä riitti paljon käännöstyötä, joka osoittautui työlääksi. Haasteellisinta oli pyrkiä kertomaan MHM-massiivipuuelementin käytöstä nimenomaan kerrostalorakentamisessa. Oli myös vaikea miettiä haasteita ja niille mahdollisia ratkaisuita. Ulkopuoliselle lukijalle nousee varmasti parhaat kysymykset ja ehdotukset haasteiksi. Itse mitoittaminen jäi työstä puuttumaan eikä suomenkielisiä laskentaohjeita vielä ole olemassa. Myös MHM-järjestelmän sisartuotteen PHE-laattaelementin esittely jäi vähille ja näissä voisikin olla mahdollisia jatkotutkimusaiheita tai -ideoita. Tarkempia ohjeita esimerkiksi eri rakenteiden sovittamisesta, kuten myös rakennusmateriaalien sovittamisesta toisiinsa voi myös kehittää eteenpäin muissa töissä.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

AHLBERG, Aku 2015. CLT:n käyttömahdollisuudet tilaelementtituotannossa. Savonia-ammattikorkeakoulu. Puutekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 2019-02-14.] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015052810951>

EUROKOODI 5 LYHENNETTY SUUNNITTELUOHJE 2018-08-31. [Verkkoaineisto]. Puuinfo. [Viitattu 2019-02-27] Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi>

ETA-15/0760 2018-04-27 European Technical Assessment, Austrian Institute of Construction Engineering. [Viitattu 2019-03-08]. Saatavissa: <https://www.massivholzmauer.de/en>

HELAMO, Markku 2018-01-31. MHM-infoa [PowerPoint-esitys]. Ammattiopisto Lappia, Kemin Digipolis Oy. [Viitattu 2019-03-10]. Saatavissa: <https://www.digipolis.fi/media/files/hankkeet/puu-ket/mhm-info-31.1-2018.pdf>

HELAMO, Markku 2019-01-11. Hallituksen jäsen. [Puhelu.] Tornio: Puumartek Oy.

Hundegger.de/fi. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-02-29] Saatavissa: <https://www.hundegger.de/fi/koneenrakennus/yritys.html>

Polku: hundegger.de/fi. Tuotteet. MHM-valmistuslinja.

INSINÖÖRITOIMISTO TANSKANEN 2018-08-11. Tasokuva MHM 1–4 krs pohjakaavio [digikuva]. Dokumentti yrityksen hallussa.

KORPINEN, Antti. 2015. Akustiikka [opetusmoniste]. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

KÖNIG, Rainer 2019-02-26. Toimitusjohtaja. [Sähköpostikeskustelu.] Pfronten: Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH.

LAKKONEN, Pekka 2016. 4-kerroksisen CLT-tilaelementtitornin jäykistyskapasiteetti. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. [Viitattu 2019-02-28.] Saatavissa: <http://URN.fi/URN:NBN:fi:tty-201611214723>

LAHTELA, Tero 2004. Ääneneristys puutalossa. Wood Focus Oy. [Viitattu 2019-02-19.] Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/>

Polku: puuinfo.fi. Rakentaminen. Suunnitteluohjeet. Akustiikka ja ääneneristys

LAHTELA, Tero 2018. Paloturvallinen puutalo asuin- ja toimitilarakentaminen. Helsinki: Puuinfo Oy. [Viitattu 2019-02-25.] Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/>

Polku: puuinfo.fi. Rakentaminen. Suunnitteluohjeet. Paloturvallisuus

Massivholzmauer.de/en. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-14-01] Saatavissa: <https://www.massivholzmauer.de/en>

Polku: massivholzmauer.de/en. Developers. Building with MHM.

Massivholzmauer.de/en. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-08-03] Saatavissa: <https://www.massivholzmauer.de/en>

Polku: massivholzmauer.de/en. Experts. Download portal.

MHM ECOLOGICAL AND INDIVIDUAL BUILDING WITH MASSIV-HOLZ-MAUER AND PROFILED TIMBER ELEMENTS 2018. 2nd edition. [Verkkoaineisto]. Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH. Saatavissa: <https://www.massivholzmauer.de/en>

MHM NATURAL LIVING – WITHOUT GLUE AND CHEMICALS [Verkkoaineisto]. Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH. Saatavissa: <https://www.massivholzmauer.de/en>

- MHM PLANNING MANUAL 2014. [Verkkoaineisto]. Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH. Saatavissa: <https://www.massivholzmauer.de/en>
- MYLLY, Martti 2016-09-23. CLT-rakentamisen haasteet ja mahdollisuudet [PowerPoint-esitys]. Ammattiopisto Lappia, Puunet. [Viitattu 2019-02-26]. Saatavissa: https://www.tts.fi/files/661/lappia_m_mylly_puunet20160923b.pdf
- Puinfo.fi. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-02-05] Saatavissa: <https://www.puinfo.fi/>
- Polku: puinfo.fi. Puutieto. Puu materiaalina. Lujustechnisiä ominaisuuksia.
- Puuproffa.fi. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-01-15] Saatavissa: <http://www.puuproffa.fi/>
- Polku: puuproffa.fi. Liitosten arkkii. Puusepän liitokset.
- Puutuoteteollisuus.fi. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-02-26] Saatavissa: <http://puutuoteteollisuus.fi/>
- Polku: puutuoteteollisuus.fi. Ajankohtaista. Medialle.
- RAKENNUSVARMA VARMA LUONNONPUU [Verkkoaineisto]. Rakennusvarma Oy. Saatavissa: <https://www.rakennusvarma.fi/>
- TANSKANEN, Jouko 2019-02-13. Hallituksen puheenjohtaja. [Sähköpostikeskustelu]. Kesälahti: Insinööri-toimisto Tanskanen Oy.
- TOLPPANEN, Janne, KARJALAINEN Markku, LAHTELA Tero, VILJAKAINEN Mikko 2013. Suomalainen puukerrostalo – Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. 1. painos. Tampere: Juvenes Print – Suomen Yliopistopaino Oy.
- TORATTI, Tomi 2001. Puurakenteiden seisminen suunnittelu. [Verkkoaineisto]. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [Viitattu 2019-02-20]. Saatavissa: <https://www.puinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/puurakenteiden-seisminen-suunnittelu/seisminen-suunnittelu.pdf>
- Trakronor.fi. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-01-15] Saatavissa: <https://trakronor.fi/>
- Polku: trakronor.fi. Artikkelit.
- VAINONEN, Joonas 2018. Puujulkisivuelementin käyttö betonikerrostaloissa. Tampereen ammattikorkeakoulu. Talonrakennustekniikka. Opinnäytetyö. [Viitattu 2019-01-09.] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018060813210>
- Ym.fi. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2019-02-26] Saatavissa: <http://www.ym.fi/fi-FI/>
- Polku: ym.fi. Ajankohtaista.
- YMPÄRISTÖMINISTERIÖN ASETUS RAKENNUKSEN ÄÄNIYMPÄRISTÖSTÄ 796/2017, 2 §, 4 §, 5 § [Verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=796%2F2017>
- YMPÄRISTÖMINISTERIÖN ASETUS UUDEN RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUDESTA 1010/2017, 24 § [Verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>

LIITE 1: LUOKITUSRAPORTTI PALONTORJUNTA

Classification report fire protection 16 cm MFPA Leipzig GmbH (Massivholzmauer.de/en)



MFPA Leipzig GmbH

Testing, Inspection and Certification Authority for
Construction Products and Construction Types

Leipzig Institute for Materials Research and Testing
Business Division III - Structural Fire Protection

Dipl.-Ing. Sebastian Hauswaldt

Work Group 3.2 - Fire Behaviour of Building Components and
special Constructions

Dipl.-Wirtsch.-Ing. S. Kramer

Tel.: +49 (0) 341 - 6582-194

kramer@mfpa-leipzig.de

Classification Report No. KB 3.2/14-013-2

04 December 2014

No. Copy 1

Translation of the original German document KB 3.2/14-013-2

Subject matter:

Classification of a load-bearing, space-enclosing and thermally-insulating MHM wall element with a lining of 9.5 mm thick gypsum plasterboards (GP boards) on the side facing away from the fire and 15 mm thick plasterboard fire bats (PBF bats) on the side facing the fire with a one-sided fire load acc. to DIN EN 13501-2: 2010-2*

Client:

Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH

Auf der Geigerhalde 41

D – 87459 Pfronten-Weißbach

Person in charge:

Dipl.-Wirtsch.-Ing. S. Kramer

The classification report is not a type approval or product certification. It does not replace any building authority certificate that may be necessary according to German building laws (state building code) and is only valid in conjunction with the corresponding test report.

This document consists of 5 pages and may not be used or reproduced in extracts.

This document may only be reproduced in its unabbreviated form. All publication, even in excerpts, requires the prior written permission of MFPA Leipzig GmbH. The legal binding form is the written form in German with the original signatures and original stamp of the authorized signatory / signatories.

General terms and conditions of MFPA Leipzig GmbH are valid.



Test laboratory accredited by DAKKS GmbH according to DIN EN ISO/IEC 17025. The accreditation only applies to the test methods listed in the certificate (in this document marked with *) which can be seen on www.mfpa-leipzig.de

Notified testing laboratories, inspection bodies and certification bodies recognized according to the Construction Products Law (NB 800) and the State Building Code (SAC 02).

Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH (MFPA Leipzig GmbH)

Head Office: Hans-Weigel-Str. 2b – 04319 Leipzig/Germany

Managing Director: Prof. Dr.-Ing. Frank Dehm

Comm. Register: Local Court Leipzig HRB 17719

VAT-ID: DE 813200649

Tel.: +49 (0) 341 - 6582-0

Fax: +49 (0) 341 - 6582-135



1 Introduction

This classification report defines the classification assigned to the load-bearing, space-enclosing and thermally-insulating MHM wall element in accordance with the procedure specified in DIN EN 13501-2: 2010-2.

2 Details of the classified product

2.1 General

The MHM wall element with a lining of 9.5 mm thick gypsum plasterboards (GP boards) on the side facing away from the fire and 15 mm thick plasterboard fire bats (PBF bats) on the side facing the fire is defined as a load-bearing, space enclosing, thermally-insulating wall structure that is classified in accordance with DIN EN 1365-1 in conjunction with DIN EN 13501-2 section 7.3.2. Its function is to resist fire corresponding to the characteristic fire behaviour in accordance with section 5.2.1 - 5.2.3 of DIN EN 13501-2: 2010-2.

2.2 Structural design of the wall construction

Table 1 List of structural details of the tested wall construction

Position	Material/ dimensions	Remark(s)
Supporting structure:	MHM wall element of soft wood Board width $b \geq 180$ mm Board thickness $d_s \geq 23$ mm Element thickness $d \geq 160$ mm	Element connection: At least 2 aluminium ribbed nails at each board intersection. Boards rough sawn in longitudinal direction, on one side with grooves to a depth of 3 mm. The MHM wall was smoothed on one side. The opposite side is rough sawn.
Lining Inner side of wall (side facing fire)	Plasterboard fire bats (PBF bats) $d \geq 15.0$ mm Max. board size: $b \times h \leq 1250$ mm x 2000 mm Joints stopped with Knauf Uniflot. Cross joints are allowed.	Fasteners: Senco N21 clips $\geq 54 \times 12.8$ mm Gap A ≤ 70 mm Gap between rows ≤ 625 mm
Lining Outer side of wall (side facing away from the fire)	Gypsum plasterboards (GP boards) $d \geq 9.5$ mm Max. board size: $b \times h \leq 1250$ mm x 2000 mm Joints stopped with Knauf Uniflot. Cross joints are allowed.	Fasteners: Senco N21 clips $\geq 54 \times 12.8$ mm Gap A ≤ 70 mm Gap between rows ≤ 625 mm





Details of the installation of the electrical installations box

Electrical installation boxes may be installed in the wall construction on the side facing the fire in the following variants.		
Cavity wall box	PVC electrical devices box $\leq \varnothing 68 \text{ mm}$ Depth $t \leq 47 \text{ mm}$	Single coat of paint with DBU dispersion fire protection coating (ETA 13/0165) in box bore. Application amount: $\geq 1 \text{ kg/m}^2$
Kaiser fire protection box	HWD 90 $\leq \varnothing 74 \text{ mm}$ Depth $t \leq 44 \text{ mm}$	Approval by construction supervision authorities Z-19.21-1788

The height of the wall construction may not exceed 3,200 mm.

The load on the wall construction is limited to 35 kN/m.

Further structural details as well as the materials used and their building material characteristic values can be found in the test report PB 3.2/14-013-1 from 16.10.2014 of MFPA Leipzig GmbH.

3 Test reports and test results supporting this classification

3.1 Test reports

Table 2 *Compilation of test reports*

Organisation that performed the test	Applicant	Number of the test report	Test standard
MFPA Leipzig GmbH Hans-Weigel-Str. 2 b 04319 Leipzig	MHM Entwicklungs GmbH	PB 3.2/14-013-1 from 16.10.2014	DIN EN 1365-1: 2013-08, in conjunction with DIN EN 1363-1: 2012-10





3.2 Test results

Table 3 Compilation of the test results

Test method	Parameter	Test results
DIN EN 1365-1: 2013-08 in conjunction with DIN EN 1363-1: 2012-10	Strength (R)	
	Vertical compression $C = h/100$ [mm]	Limit not reached
	Speed of vertical compression $dC/dt = 3 h/1000$ [mm/min]	Limit not reached
	Integrity (E)	
	Combustion of the cotton ball	no combustion
	Appearance of gaps	no gaps
	Appearance of flames on the opposite side	no sustained appearance of flames
	Thermal insulation (I) – Rise in temperature on the side to which no flames are applied above the initial temperature after the 90th minute of test	
	Mean value > 140 K	2 K
max. single value > 180 K	4 K	

4 Classification and direct field of application

4.1 Reference for classification

This classification was carried out in accordance with DIN EN 13501-2: 2010-02, section 7.

4.2 Classification

This classification has been carried out in compliance with section 7.3.2 of DIN EN 13501-2: 2010-02.

The load-bearing, space-enclosing, thermally-insulating MHM wall element according to section 2.2 has been classified on the basis of the following combinations of performance parameters and classes. Other classifications are not allowed.

R	E	I	W	-	t	-	M	P	C	IncSlow	sn	ef	r
R	E	I	-	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-

Fire protection effect: REI-90





4.3 Direct field of application

The results of the fire test are directly applicable to similar designs in which one or several of the changes listed below have been carried out and for which the design continues to meet the requirements of the corresponding design standard in terms of its rigidity and strength. Further changes are not allowed.

- Reduction of the height of the wall,
- Increase in the width of the wall,
- Increase in the thickness of the wall,
- Increase in the thickness of individual components (corresponding materials),
- Reduction of the length of boards and panels, though not the thickness,
- Reduction of the gaps between fastenings,
- Increase in the number of horizontal joints,
- Reduction of the applied load.
- Electrical installation boxes in accordance with section 2.2 may be installed in the room side of the wall.

5 Restrictions

The classification document is not a type approval or certification of the product. It does not replace any building authority certificate that may be necessary according to German building laws (state building code).

This classification report is valid for an unlimited period. It is the responsibility of the certification body to check whether the relevant test and classification standards are valid and/or that no significant changes have been made that may have an effect on the safety level.

Leipzig, 04 December 2014

Dipl.-Ing. S. Hauswaldt
Head of Business Division



Dipl.-Ing. H. Fischkandl
Head of Laboratory

Dipl.-Wirtsch.-Ing. S. Kramer
Testing Engineer

Classification report fire protection 20 cm MFPA Leipzig GmbH (Massivholzmauer.de/en)



MFPA Leipzig GmbH

Testing, Inspection and Certification Authority for
Construction Products and Construction Types

Leipzig Institute for Materials Research and Testing
Business Division III - Structural Fire Protection

Dipl.-Ing. Sebastian Hauswaldt

Work Group 3.2 - Fire Behaviour of Building Components and
special Constructions

Dipl.-Wirtsch.-Ing. S. Kramer

Tel.: +49 (0) 341 - 6582-194

kramer@mfpa-leipzig.de

Classification Report No. KB 3.2/14-013-3

30 June 2015

No. Copy 1

Translation of the original German document KB 3.2/14-013-3

Subject matter:	Classification of a load-bearing, space-enclosing, thermally-insulating, solid timber wall construction lined on one side with 18 mm thick gypsum - plasterboards with a one-sided fire load according to DIN EN 13501-2: 2010-2*
Client:	Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH Auf der Geigerhalde 41 D – 87459 Pfronten-Weißbach
Person in charge:	Dipl.-Wirtsch.-Ing. S. Kramer

The classification report is not a type approval or product certification. It does not replace any building authority certificate that may be necessary according to German building laws (state building code) and is only valid in conjunction with the corresponding test report.

This document consists of 5 pages and may not be used or reproduced in extracts.

This document may only be reproduced in its unabbreviated form. All publication, even in excerpts, requires the prior written permission of MFPA Leipzig GmbH. The legal binding form is the written form in German with the original signatures and original stamp of the authorized signatory / signatories.

General terms and conditions of MFPA Leipzig GmbH are valid.



Test laboratory accredited by DAkkS GmbH according to DIN EN ISO/IEC 17025. The accreditation only applies to the test methods listed in the certificate (in this document marked with *) which can be seen on www.mfpa-leipzig.de

Notified testing laboratories, inspection bodies and certification bodies recognized according to the Construction Products Law (NB 800) and the State Building Code (SAC 02).

Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH (MFPA Leipzig GmbH)

Head Office: Hans-Weigel-Str. 2b – 04319 Leipzig/Germany
Managing Director: Prof. Dr.-Ing. Frank Dehn
Comm. Register: Local Court Leipzig HRB 17719
VAT-ID: DE 813200649
Tel.: +49 (0) 341 - 6582-0
Fax: +49 (0) 341 - 6582-135



1 Introduction

This classification report defines the classification assigned to the load-bearing, space-enclosing and thermally-insulating solid timber wall construction in accordance with the procedure specified in DIN EN 13501-2: 2010-2.

2 Details of the classified product

2.1 General

The wall construction, consisting of solid timber elements and panelling on one side, is defined as a load-bearing, space-enclosing, thermally-insulating wall construction that is to be classified in accordance with DIN EN 1365-1 in conjunction with DIN EN 13501-2 section 7.3.2. Its function is to resist fire corresponding to the characteristic fire behaviour in accordance with section 5.2.1 - 5.2.3 of DIN EN 13501-2: 2010-2.

2.2 Structural design of the wall construction

Table 1 List of structural details of the tested wall construction

Position	Material/ dimensions	Remark(s)
Supporting structure:	Wall elements made of 9 layers of cross-wise laminated spruce boards with relief grooves and a fluted surface Element thickness $d \geq 205$ mm Element size lower part of wall: $B \times H = 1000$ mm x 500 mm Element size upper part of wall: $B \times H = 1000$ mm x 2500 mm	Element connection: The elements are jointed together by screws (WT-t-8.2x240) at an angle of 45°. Vertical and horizontal contact surfaces of the individual elements are to be provided with an all-over wax coating.
Lining on one side of wall	Gypsum plasterboard $d \geq 18.0$ mm Max. board size: $b \times h \leq 1250$ mm x 2500 mm Joints and screw heads stopped Cross joints are allowed.	Fasteners: Plasterboard drywall screws $\geq 30 \times 3.9$ mm Gap $a \leq 250$ mm Gap between rows ≤ 625 mm

The height of the wall construction may not exceed 3000 mm.

The load on the wall construction is limited to 140 kN/m.

Further structural details as well as the materials used and their building material characteristic values can be found in the test report PB III/B 03 – 157 from 22.10.2003 of MFPA Leipzig GmbH.





3 Test reports and test results supporting this classification

3.1 Test reports

Table 2 Compilation of test reports

Organisation that performed the test	Applicant	Number of the test report	Test standard
MFPA Leipzig GmbH Hans-Weigel-Str. 2 b 04319 Leipzig	MHM Entwicklungs GmbH	PB III/B 03 – 157 from 22.10.2003	DIN EN 1365-1: 1999-10, in conjunction with DIN EN 1363-1: 1999-10

3.2 Test results

Table 3 Compilation of the test results

Test method	Parameter	Test results with load on the	
		layer of 18 mm gypsum plasterboards	un-panelled solid timber wall
DIN EN 1365-1: 2013-08 in conjunction with DIN EN 1363-1: 2012-10	Strength (R)		
	Vertical compression $C = h/100$ [mm]	Limit not reached	
	Speed of vertical compression $dC/dt = 3 h/1000$ [mm/min]	Limit not reached	
	Integrity (E)		
	Combustion of the cotton ball	no combustion	
	Appearance of gaps	no gaps	
	Appearance of flames on the opposite side	no sustained appearance of flames	
	Thermal insulation (I) – Rise in temperature on the side to which no flames are applied above the initial temperature after the 90th minute of test		
	Mean value > 140 K	2 K	4 K
	max. single value > 180 K	26 K	13 K

4 Classification and direct field of application

4.1 Reference for classification

This classification was carried out in accordance with DIN EN 13501-2: 2010-02, section 7.





4.2 Classification

This classification has been carried out in compliance with section 7.3.2 of DIN EN 13501-2: 2010-02.

The load-bearing, space-enclosing,, thermally-insulating solid timber wall construction (solid timber wall) with panelling on one side of gypsum plasterboards according to section 2.2 has been classified on the basis of the following combinations of performance parameters and classes for a one-sided fire load on the side lined with gypsum plasterboards and/or the un-panelled side of the wall. Other classifications are not allowed.

R	E	I	W	-	t	-	M	P	C	IncSlow	sn	ef	r
R	E	I	-	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-

Fire protection effect: REI-90

4.3 Direct field of application

The results of the fire test are directly applicable to similar designs in which one or several of the changes listed below have been carried out and for which the design continues to meet the requirements of the corresponding design standard in terms of its rigidity and strength. Further changes are not allowed.

- Reduction of the height of the wall,
- Increase in the width of the wall,
- Increase in the thickness of the wall,
- Increase in the thickness of individual components (corresponding materials),
- Reduction of the length of boards and panels, though not the thickness,
- Reduction of the gaps between fastenings,
- Increase in the number of horizontal joints,
- Reduction of the applied load.
- On account of two fire tests on each side, the classification REI-90 applies for the asymmetric wall construction with a load from the outside to the inside acc. to section 2.2.





5 Restrictions

The classification document is not a type approval or certification of the product. It does not replace any building authority certificate that may be necessary according to German building laws (state building code).

This classification report is valid for an unlimited period. It is the responsibility of the certification body to check whether the relevant test and classification standards are valid and/or that no significant changes have been made that may have an effect on the safety level.

Leipzig, 30 June 2015

Dipl.-Ing. S. Hauswaldt
Head of Business Division



Dipl.-Ing. H. Fischkandl
Head of Laboratory

Dipl.-Wirtsch.-Ing. S. Kramer
Testing Engineer

LIITE 2: EUROPEAN TECHNICAL ASSESSMENT

ETA-15/0760 (2018)

Page 10 of European Technical Assessment ETA-15/0760 of 27.04.2018,
replaces European Technical Assessment ETA-15/0760 of 30.06.2017



electronic copy

electronic copy

electronic copy

electronic copy

electronic copy

electronic copy

Figure 1: Principle structure of the solid wood slab

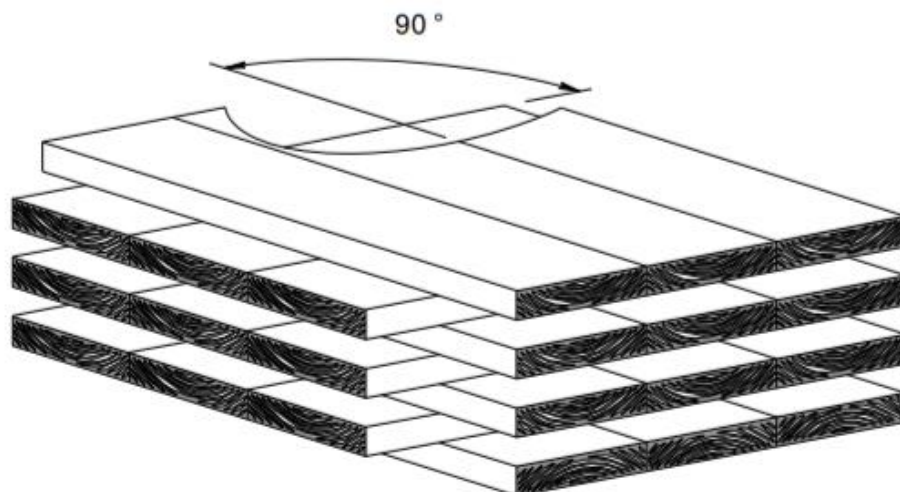
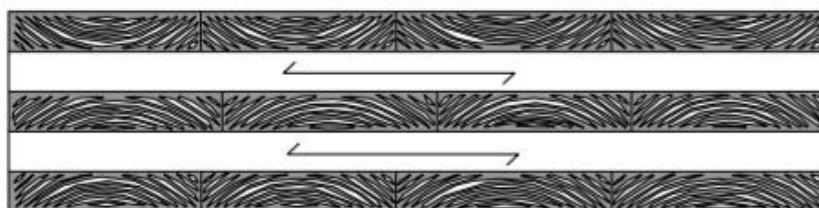


Figure 2: Principle structure of MHM – wall element with 5 layers

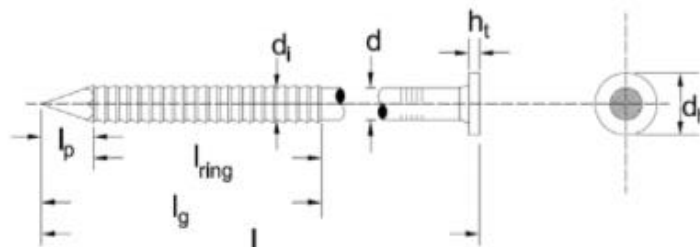


MHM – wall element

Annex 2

Structure of the MHM– wall element

of European Technical Assessment
ETA-15/0760 of 27.04.2018

Figure 4: Geometry of fluted aluminium nail

l	length
l_{ring}	threaded length
l_p	length of the tip
l_g	length of tip and thread
d_i	inner thread diameter
d	diameter
d_h	head diameter
h_t	thickness of the head

Table 2: Specification of fluted aluminium nail

Nail characteristics		Unit	Value
Nominal diameter	d	mm	2.5
Nominal length	l	mm	50
Characteristic tensile strength	$F_{tens,k}$	N	1400
Characteristic yield moment	$M_{y,k}$	N	800
Characteristic withdrawal capacity of the shaft	$F_{ax,k,Shaft}$	N	610
Characteristic withdrawal capacity of the nail	$F_{ax,k}$	N	485
Slip modulus (serviceability limit state)	K_{ser}	N/mm	300

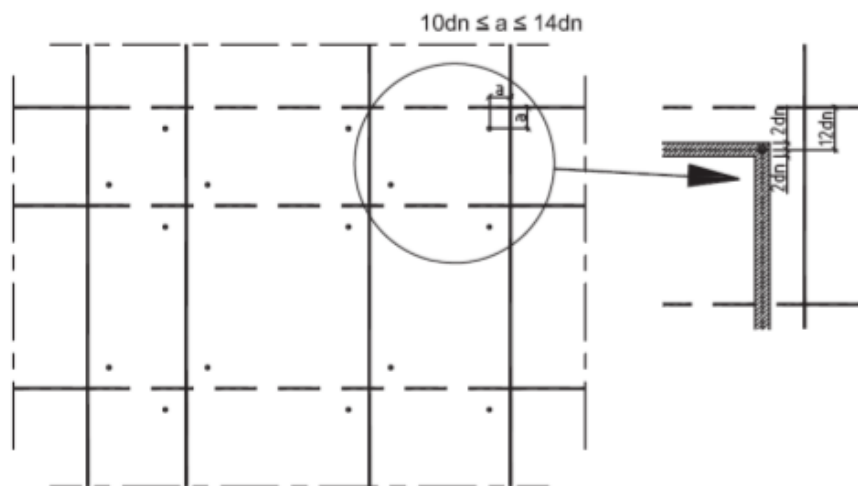
MHM – wall element

Annex 3

Fluted aluminium nail

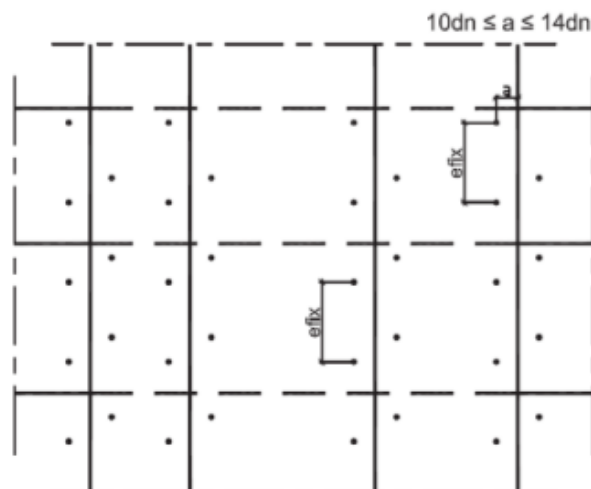
of European Technical Assessment
ETA-15/0760 of 27.04.2018

Figure 5: General nailing patterns for the MHM – wall element



d_n diameter of the nail: 2.5 mm
grey shaded admissible area for nailing

Figure 6: Fixed nailing pattern for first layer of the MHM – wall element



b_{min} minimum board width
 e_{fix} fixed distance between nails
 $e_{fix} \leq 0.8 \times b_{min}$ for elements with two nails per crossing point
 $e_{fix} \leq 0.4 \times b_{min}$ for elements with four nails per crossing point

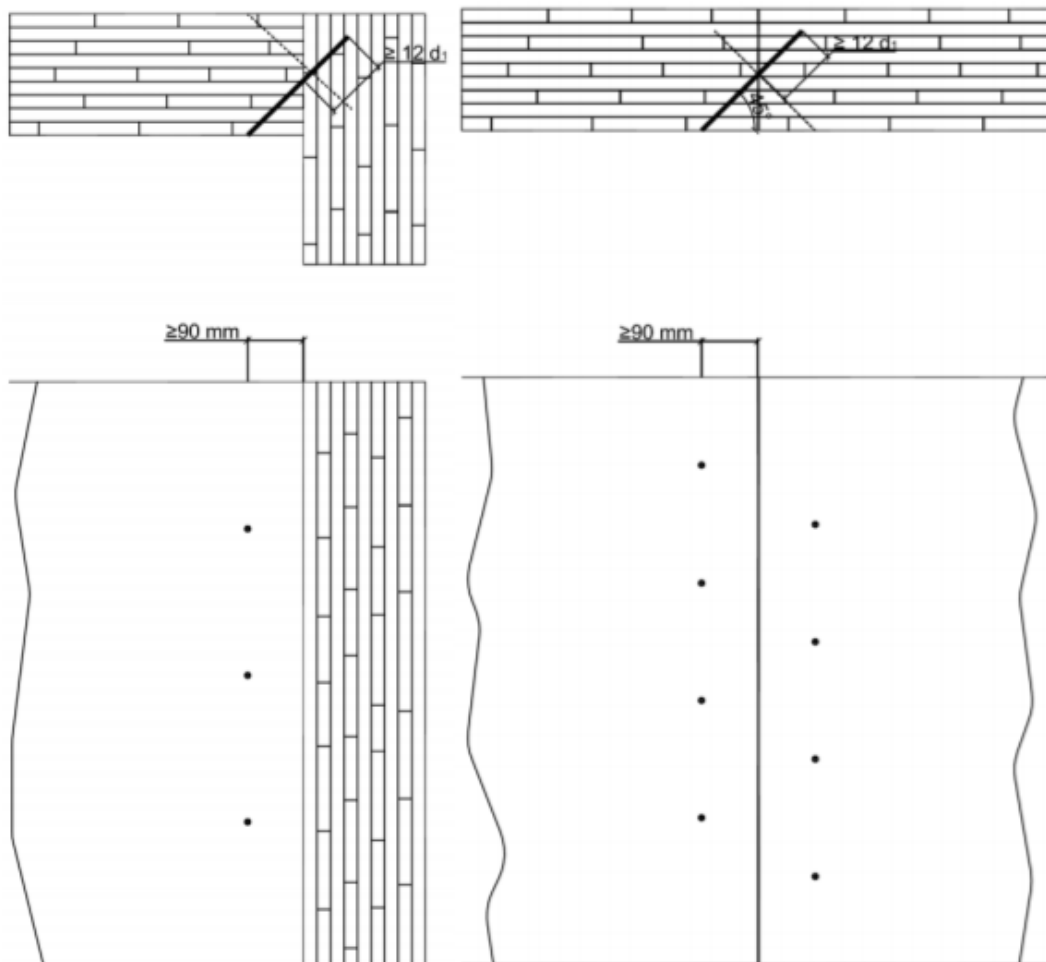
MHM – wall element

Annex 3

Fluted aluminium nail

of European Technical Assessment
ETA-15/0760 of 27.04.2018

Figure 7: Perpendicular and parallel connection of MHM – wall elements


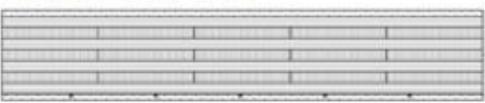
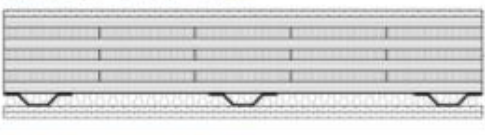
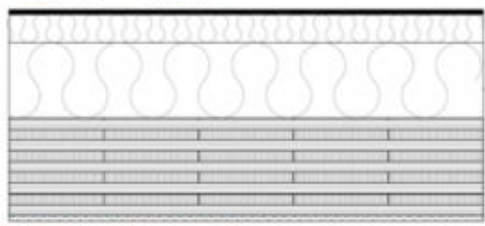
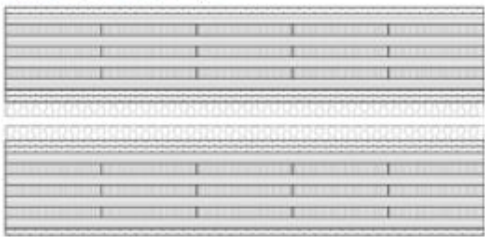



MHM – wall element

Annex 5

Connection of MHM – wall elements

of European Technical Assessment
ETA-15/0760 of 27.04.2018

Examples for airborne sound insulation			
Nº	Wall elements		
W 1	115 mm	MHM – wall element, $m' = 45.7 \text{ kg/m}^2$	$R_w(C; C_v) = 32 (-1; -3) \text{ dB}$ 
W 2	12.5 mm 160 mm 12.5 mm	Gypsum fibre board, $m' = 15.3 \text{ kg/m}^2$ MHM – wall element, $m' = 63.4 \text{ kg/m}^2$ Gypsum fibre board, $m' = 15.3 \text{ kg/m}^2$	$R_w(C; C_v) = 42 (-1; -4) \text{ dB}$ 
W 3	12.5 mm 12.5 mm 27 mm 20 mm 160 mm 12.5 mm	Gypsum fibre board, $m' = 15.3 \text{ kg/m}^2$ Gypsum fibre board, $m' = 15.3 \text{ kg/m}^2$ Hat-shaped spring strip, $e = 690 \text{ mm}$ Stone wool insulation board, $\rho = 40.2 \text{ kg/m}^3$ MHM – wall element, $m' = 63.7 \text{ kg/m}^2$ Gypsum fibre board, $m' = 15.3 \text{ kg/m}^2$	$R_w(C; C_v) = 61 (-4; -11) \text{ dB}$ 
W 4	6 mm 60 mm 160 mm 0.45 mm 205 mm 12.5 mm	Plaster, $m' = 9.6 \text{ kg/m}^2$ Wood fiber insulation board, $m' = 15 \text{ kg/m}^2$ Structural timber, $e = 625 \text{ mm}$, and blow-in insulation of wood fiber, $\rho = 38.9 \text{ kg/m}^3$ Facing sheet, $m' = 0.145 \text{ kg/m}^2$ MHM – wall element, $m' = 81.6 \text{ kg/m}^2$ Gypsum fibre board, $m' = 15.3 \text{ kg/m}^2$	$R_w(C; C_v) = 46 (-2; -7) \text{ dB}$ 
W 5	12.5 mm 160 mm 2 x 12.5 mm 30 mm 20 mm 30 mm 2 x 12.5 mm 160 mm 12.5 mm	Gypsum fibre board, $m' = 15.3 \text{ kg/m}^2$ MHM – wall element, $m' = 64.9 \text{ kg/m}^2$ Gypsum fibre board, $m' = 15.3 \text{ kg/m}^2$ Stone wool insulation board, $\rho = 40.9 \text{ kg/m}^3$ Joint/air Stone wool insulation board, $\rho = 40.9 \text{ kg/m}^3$ Gypsum fibre board, $m' = 15.3 \text{ kg/m}^2$ MHM – wall element, $m' = 64.9 \text{ kg/m}^2$ Gypsum fibre board, $m' = 15.3 \text{ kg/m}^2$	$R_w(C; C_v) = 78 (-2; -7) \text{ dB}$ 
W 6	12.5 mm 160 mm 2 x 12.5 mm 20 mm 30 mm 2 x 12.5 mm 160 mm 12.5 mm	Gypsum fibre board, $m' = 15.3 \text{ kg/m}^2$ MHM – wall element, $m' = 64.9 \text{ kg/m}^2$ Gypsum fibre board, $m' = 15.3 \text{ kg/m}^2$ Air Stone wool insulation board, $\rho = 40.9 \text{ kg/m}^3$ Gypsum fibre board, $m' = 15.3 \text{ kg/m}^2$ MHM – wall element, $m' = 64.9 \text{ kg/m}^2$ Gypsum fibre board, $m' = 15.3 \text{ kg/m}^2$	$R_w(C; C_v) = 74 (-2; -8) \text{ dB}$ 
MHM – wall element			Annex 6 of European Technical Assessment ETA-15/0760 of 27.04.2018
Airborne sound insulation			

Mechanical actions perpendicular to plane and in plane of the MHM – wall element

General

Due to the perpendicular orientation of the boards, the MHM – wall element is able to transfer loads in all directions according to its condition of support. For mechanically jointed cross laminated timber multi-axle stressed in both principal directions, different stiffness for the two principal directions shall be considered.

For calculation of characteristic values of cross-section, only boards which are oriented in direction of the mechanical action may be employed.

For design of mechanically jointed cross laminated timber according to shear analogy method (TR019, C.1.2) and EN 1995-1-1, characteristic strength and stiffness of solid wood according to Annex 4 shall be taken.

Mechanical actions perpendicular to the MHM – wall element

Design with maximum board width $b_{max} = 260$ mm in both directions. If the board width is defined and marked accordingly, the marked board width may be used.

If the maximum deformation in the serviceability limit state does not exceed $h / 300$, the following provisions may be considered:

- Design for wall elements with two nails per crossing point with 2/3 of the calculated shear flow.
Design for wall elements with four nails per crossing point with 4/5 of the calculated shear flow.
- Consideration of factor f for rise in stiffness

For design of mechanically jointed cross laminated timber according to shear analogy method (TR019, C.1.2) and EN 1995-1-1, characteristic strength and stiffness of solid wood according to Annex 4 shall be taken.

$$EI_{eff} = EI_A + EI_B \cdot \frac{1}{1 + \frac{EI_B \cdot \pi^2}{S \cdot l^2}} \quad [Nmm^2] \quad \text{Effective bending stiffness}$$

With

$$\frac{1}{S} = \left[\frac{1}{((n-1) \cdot d)^2} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{m \cdot \left(\frac{k_{nail}}{b_x \cdot b_y} \right)} \right] \cdot \frac{1}{f} \quad [Nmm^2] \quad \text{Substitute shear stiffness}$$

n	[-]	Number of layers
d	[mm]	Thickness of one layer
m	[-]	Number of nails per cross point
b_x	[mm]	Width of boards in x-direction
b_y	[mm]	Width of boards in y-direction
k_{nail}	[N/mm]	Slip modulus of single nail

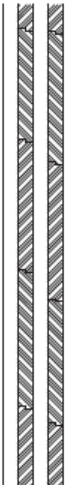
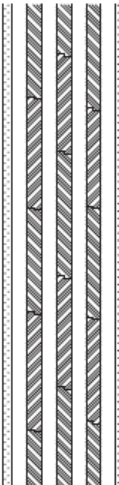
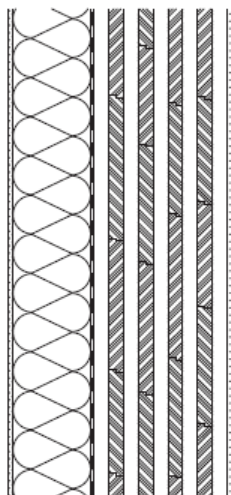
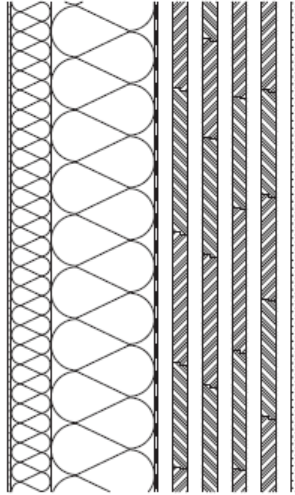
MHM – wall element	Annex 7
Design considerations for the MHM – wall element	of European Technical Assessment ETA-15/0760 of 27.04.2018

f	[-]	Factor considering rise in stiffness (only for serviceability limit state): $f = 1.5$ for $m = 2$ and $f = 1.25$ for $m = 4$
l	[mm]	Length of element
EI_A	[Nmm ²]	Sum of own bending stiffnesses (layers in longitudinal direction)
EI_B	[Nmm ²]	Sum of Steiner parts (layers in longitudinal direction)
<p>The bending stiffness is specified in relation to the effective moment of inertia I_{eff}.</p> <p><u>Mechanical actions in plane of the MHM – wall element</u></p> <p>For assessment of wall elements loaded in tension or compression the net cross section (without transverse layers) in direction of loading has to be considered.</p> <p>For compressive stress in plane of the MHM – wall element verification according to second order theory with equivalent imperfections according to EN 1995-1-1 under consideration of shear deformations or shear buckling, respectively. Assessment of stability with maximum board width $b_{max} = 260$ mm in both directions. If the board width is defined and marked accordingly, the marked board width may be used.</p> <p>For horizontal stress in plane of MHM – wall elements verification according to second order theory with equivalent imperfections according to EN 1995-1-1 under consideration of shear deformations or shear buckling, respectively. Hereby, serviceability will be decisive. For shear stress in plane of the MHM – wall element assessment with minimum board width $b_{min} = 140$ mm in both directions. If the board width is defined and marked accordingly, the marked board width may be used.</p> <p>Design according to EN 1995-1-1, with characteristic strength and stiffness of solid wood according to Annex 4 and</p>		
$EI_{eff} = EI_A + \gamma \cdot EI_B$	[Nmm ²]	Effective bending stiffness
With		
$\gamma = 7.5\%$	[%]	Ratio according to EN 1995-1-1, Annex B
EI_A	[Nmm ²]	Sum of own bending stiffnesses (layers in longitudinal direction)
EI_B	[Nmm ²]	Sum of Steiner parts (layers in longitudinal direction)
<p>For elements above openings the number of horizontal, statically active, board layers is restricted to five boards lying upon each other.</p> <p><u>Racking strength – shear wall</u></p> <p>Without further verification, the racking strength for an element with minimum 9 layers may be taken by</p> <p>$R_{v,k} = 2.75$ kN/m.</p>		
MHM – wall element		Annex 7
Design considerations for the MHM – wall element		of European Technical Assessment ETA-15/0760 of 27.04.2018

electronic copy	<p>Verification by calculation shall follow the shear analogy method, with</p> $\frac{1}{D_{xy}} = \frac{b_x \cdot b_y}{\sum K_{\varphi,j}} \quad [\text{mm/N}] \quad \text{Shear stiffness}$				
electronic copy	<p>With</p> $K_{\varphi,j} = \sum r_i^2 \cdot k_{nail} \quad [\text{Nmm}] \quad \text{Torsion spring stiffness}$				
electronic copy	$r_i \quad [\text{mm}] \quad \text{Distance of nails to the centre of rotation}$				
electronic copy	$k_{nail} \quad [\text{N/mm}] \quad \text{Slip modulus of single nail}$				
electronic copy	$b_x \quad [\text{mm}] \quad \text{Width of boards in x-direction}$				
electronic copy	$b_y \quad [\text{mm}] \quad \text{Width of boards in y-direction}$				
electronic copy	$M_{\varphi} = \frac{n_{xy} \cdot e_x \cdot e_y}{\sum K_{\varphi,j}} \cdot K_{\varphi,j} \quad [\text{Nmm}] \quad \text{Moment for design of connection in joint}$				
electronic copy	$n_{xy} \quad [\text{N/mm}] \quad \text{Shear force}$				
electronic copy	$e_x \quad [\text{mm}] \quad \text{Distance between centre of boards in x-direction}$				
electronic copy	$e_y \quad [\text{mm}] \quad \text{Distance between centre of boards in y-direction}$				
electronic copy	<p>Fasteners</p> <p>Load transfer through fluted aluminium nails shall be verified.</p> <p>Design of fasteners for connection of two MHM – wall elements or MHM – wall elements and solid timber, glued laminated timber or steel sheets with a minimum penetration depth of 12 x d, may follow EN 1995-1-1 under consideration of:</p> <ul style="list-style-type: none"> - For connections between MHM – wall elements and solid timber or glued laminated timber loaded in shear with the screw head on solid timber or glued laminated timber side reduction of load bearing capacity $F_{v,Rk}$ by factor $\delta_1 = 0.95$. - For connections between two MHM – wall elements and MHM – wall elements and solid timber or glued laminated timber loaded in shear with the screw head on MHM – wall element side reduction of load bearing capacity $F_{v,Rk}$ by factor $\delta_2 = 0.75$. <p>No reduction for nail-connections loaded in shear as well as axially loaded screw connections.</p>				
electronic copy	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">MHM – wall element</td> <td style="text-align: center;">Annex 7</td> </tr> <tr> <td>Design considerations for the MHM – wall element</td> <td>of European Technical Assessment ETA-15/0760 of 27.04.2018</td> </tr> </table>	MHM – wall element	Annex 7	Design considerations for the MHM – wall element	of European Technical Assessment ETA-15/0760 of 27.04.2018
MHM – wall element	Annex 7				
Design considerations for the MHM – wall element	of European Technical Assessment ETA-15/0760 of 27.04.2018				

LIITE 3: YLEISIMMÄT SEINÄRAKENTEET

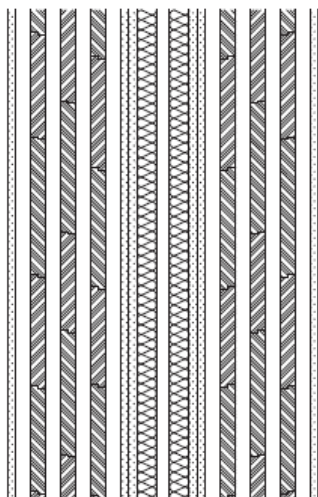
MHM Planning Manual 2014, 16–17

	<p>Inner walls</p> <p>Wall structure:</p> <ul style="list-style-type: none"> - left: Massiv-Holz-Mauer® 115 mm unlined - right: Massiv-Holz-Mauer® 160 mm lined on both sides with gypsum fibre board <p>Properties:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Walls can support static loads - Sound insulation: (see test report no. 13-001170-PR01 Ift Rosenheim) <ul style="list-style-type: none"> > MHM 115 mm: $R_w = 32$ dB > MHM 160 mm lined: $R_w = 42$ dB 	
	<p>Outer walls</p> <p>Wall structure from inside to outside:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gypsum plasterboard 12,5 mm (also e.g. Gypsum fibre board, Clay building board, ... possible) - Massiv-Holz-Mauer® 205 mm - Façade membrane (only necessary where greater air-tightness is required, e.g. passive house) - Light render (for composite thermal insulation made of soft wood fibre, use suitable render to manufacturer's instructions) <p>Properties:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Walls can support static loads - U value: $0,20$ W/(m²K) - Fire protection: REI 90 (von innen) - sd value: 4,88 m - Phase shift: approx. 20 h - Weight: ca. 126 kg/m² - Overall thickness: 34,4 cm 	
	<p>Wall structure from inside to outside:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gypsum fibre board 12,5 mm (also e.g. gypsum plasterboard, Clay building board, ... possible) - Massiv-Holz-Mauer® 205 mm - Façade membrane (only necessary where greater air-tightness is required, e.g. passive house) - Wood fibre blow-in insulation/uprights made of solid structural timber 160 mm - Wood fibre insulation board (WLG045) 60 mm - Light render (for composite thermal insulation made of soft wood fibre, use suitable render to manufacturer's instructions) <p>Properties:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Walls can support static loads - U value: $0,15$ W/(m²K) - Fire protection: REI 90 (von innen) - Sound insulation: $R_w = 46$ dB (see test report no. 13-001170-PR01 Ift Rosenheim) - sd value: 5,25 m - Phase shift: ca. 22 h - Weight: approx. 135 kg/m² - Overall thickness: 44,4 cm 	



Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Examples wall structures
 Inner and outer walls



Building partition wall

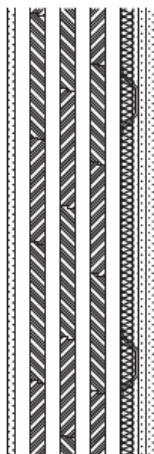
Wall structure from left to right:

- Gypsum fibre board 12.5 mm
- Massiv-Holz-Mauer® 160 mm
- 2x Gypsum fibre board 12.5 mm
- Rock wool insulation boards 30 mm
- Air 20 mm
- Rock wool insulation boards 30 mm
- 2x Gypsum fibre board 12.5 mm
- Massiv-Holz-Mauer® 160 mm
- Gypsum fibre board 12.5 mm

Properties:

- Walls can support static loads
- Sound insulation: $R_w = 78$ dB (see test report no. 13-001170-PR01 ift Rosenheim)
- Weight: approx. 230 kg/m²
- Overall Thickness: 47,5 cm

Apartment partition walls

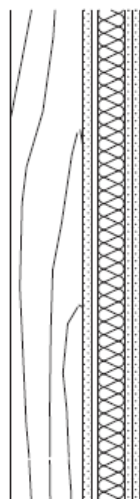


Wall structure from left to right:

- Gypsum fibre board 12,5 mm
- Massiv-Holz-Mauer® 160 mm
- Rock wool insulation board 20 mm / Trough-section resilient bar 27 mm
- 2x Gypsum fibre board 12,5 mm

Properties:

- Walls can support static loads
- Sound insulation: $R_w = 61$ dB (see test report no. 13-001170-PR01 ift Rosenheim)
- Weight: approx. 115 kg/m²
- Overall thickness: 22,5 cm



Wall structure from left to right:

- Profiled timber elements 110 mm
- Gypsum fibre board 12,5 mm
- Air gap 10 mm
- Rock wool insulation board 40 mm / CW-/UW-Profile 50 mm
- 2x Gipsfaserplatte 12,5 mm

Properties:

- Walls can support static loads
- Sound insulation: $R_w = 64$ dB (see test report no. 13-001170-PR01 ift Rosenheim)
- Weight: approx. 95 kg/m²
- Overall thickness: 19,8 cm



Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH

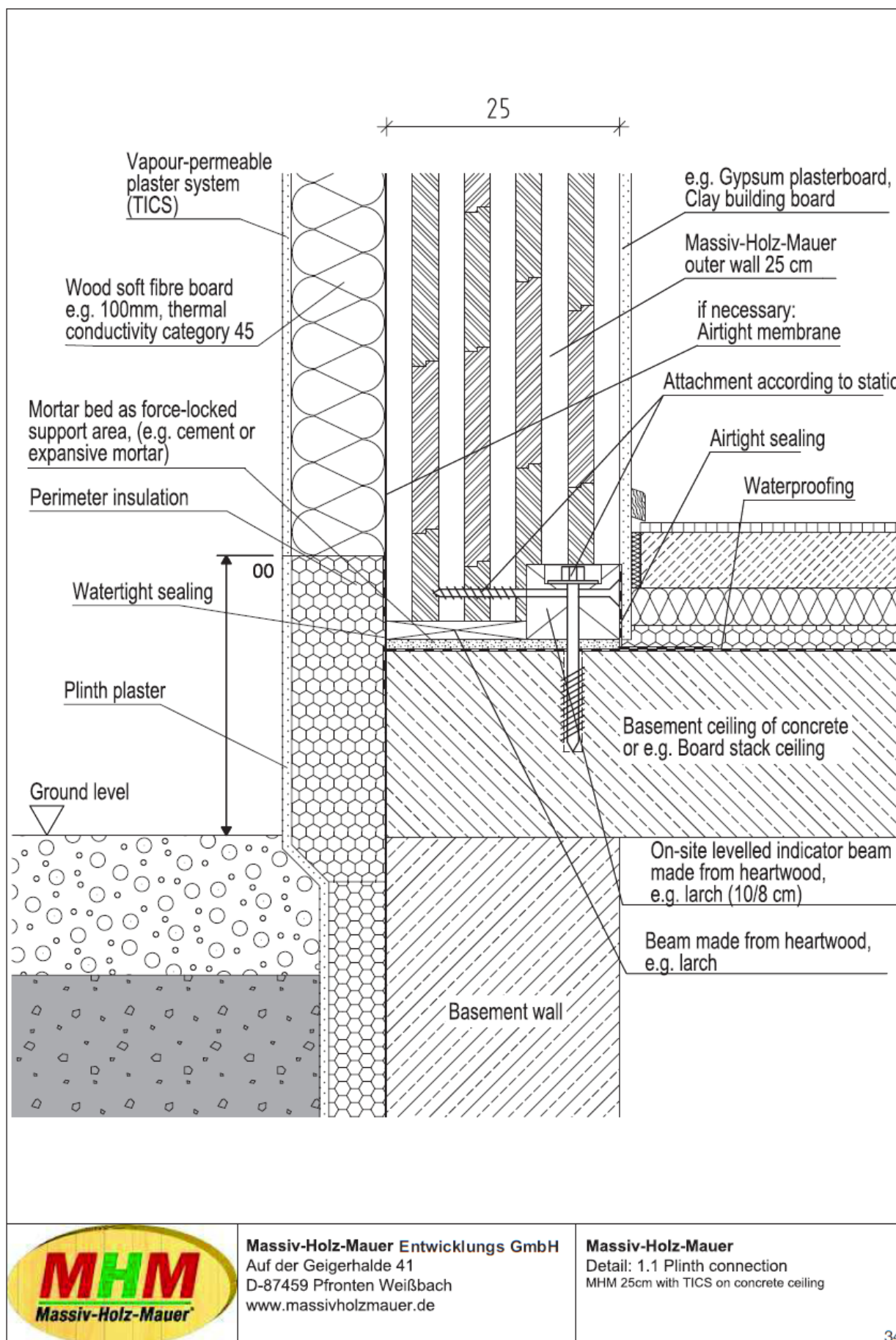
Auf der Geigerhalde 41
D-87459 Pfronten Weißbach
www.massivholzmauer.de

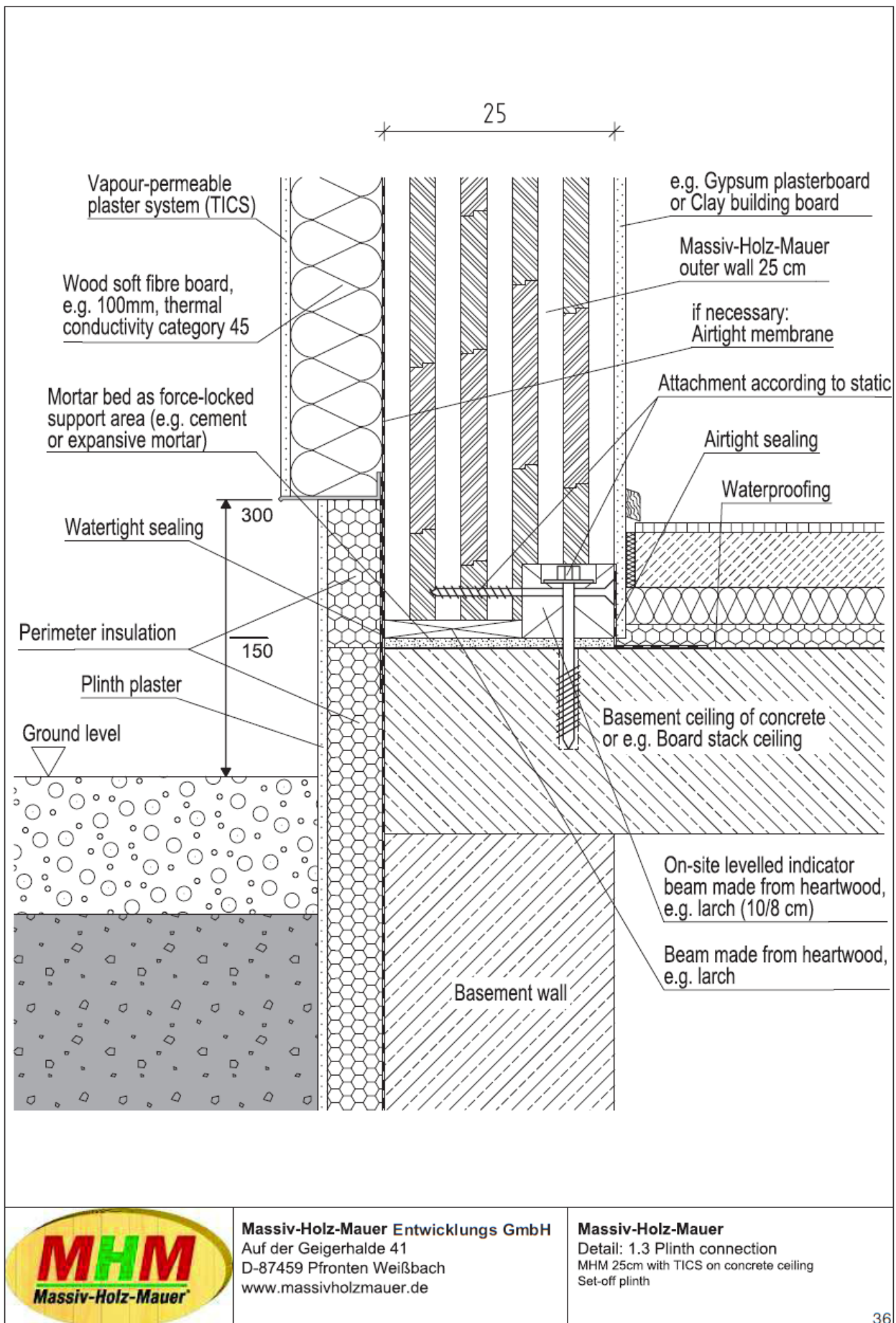
Massiv-Holz-Mauer

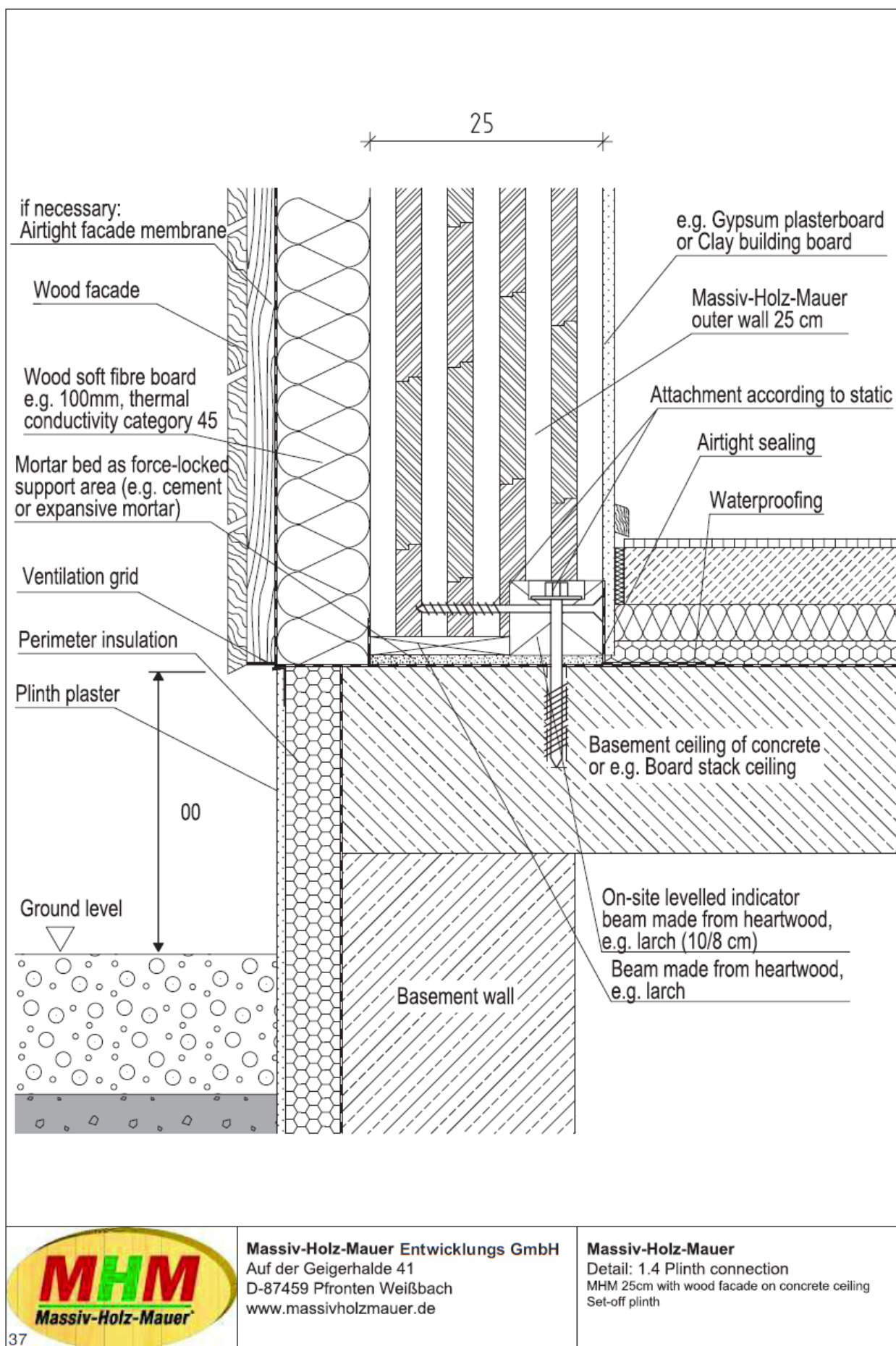
Examples wall structures
Building partition wall and apartment partition wall

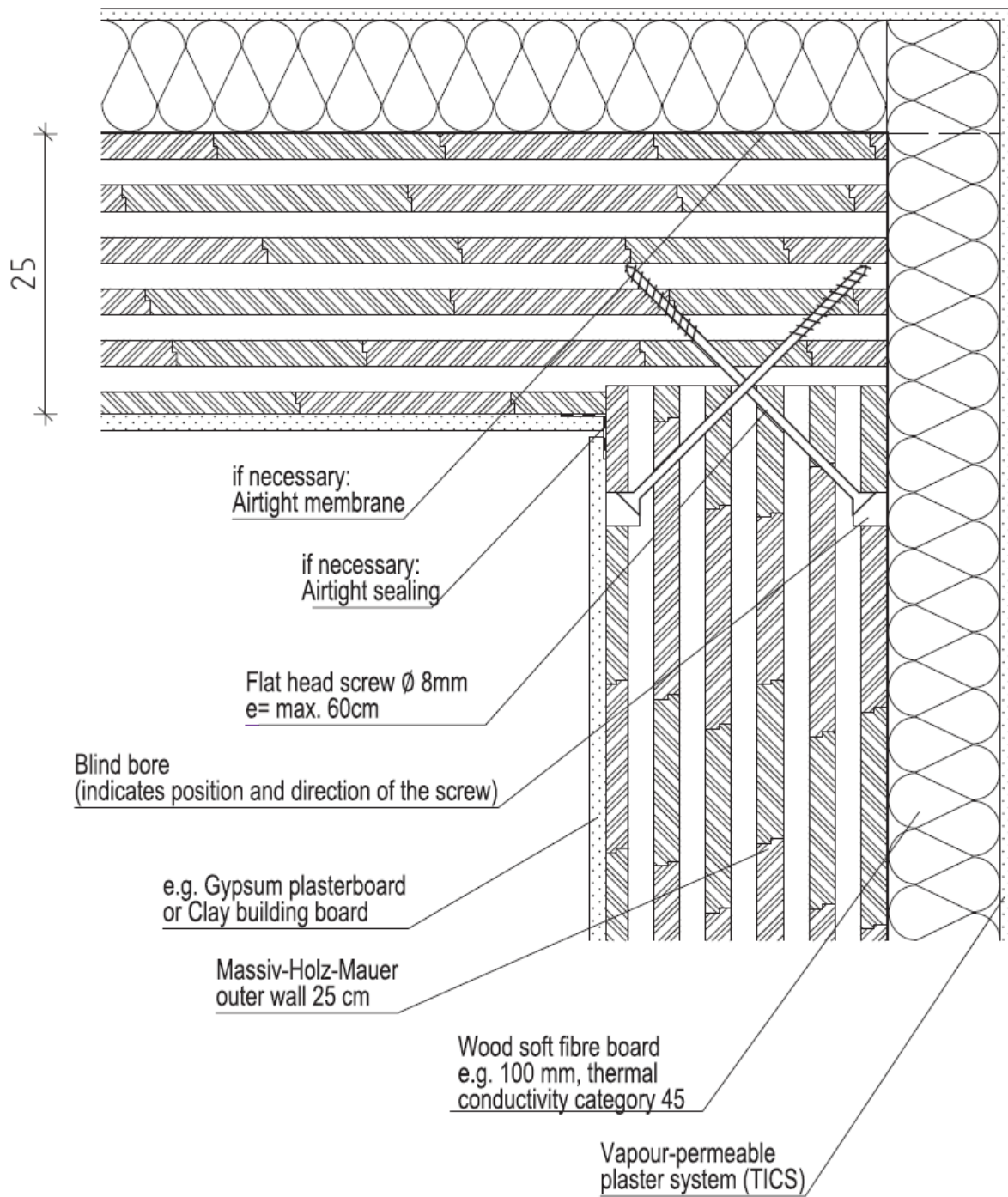
LIITE 4: SUUNNITTELUESIMERKIT

MHM Planning Manual 2014, 34–66



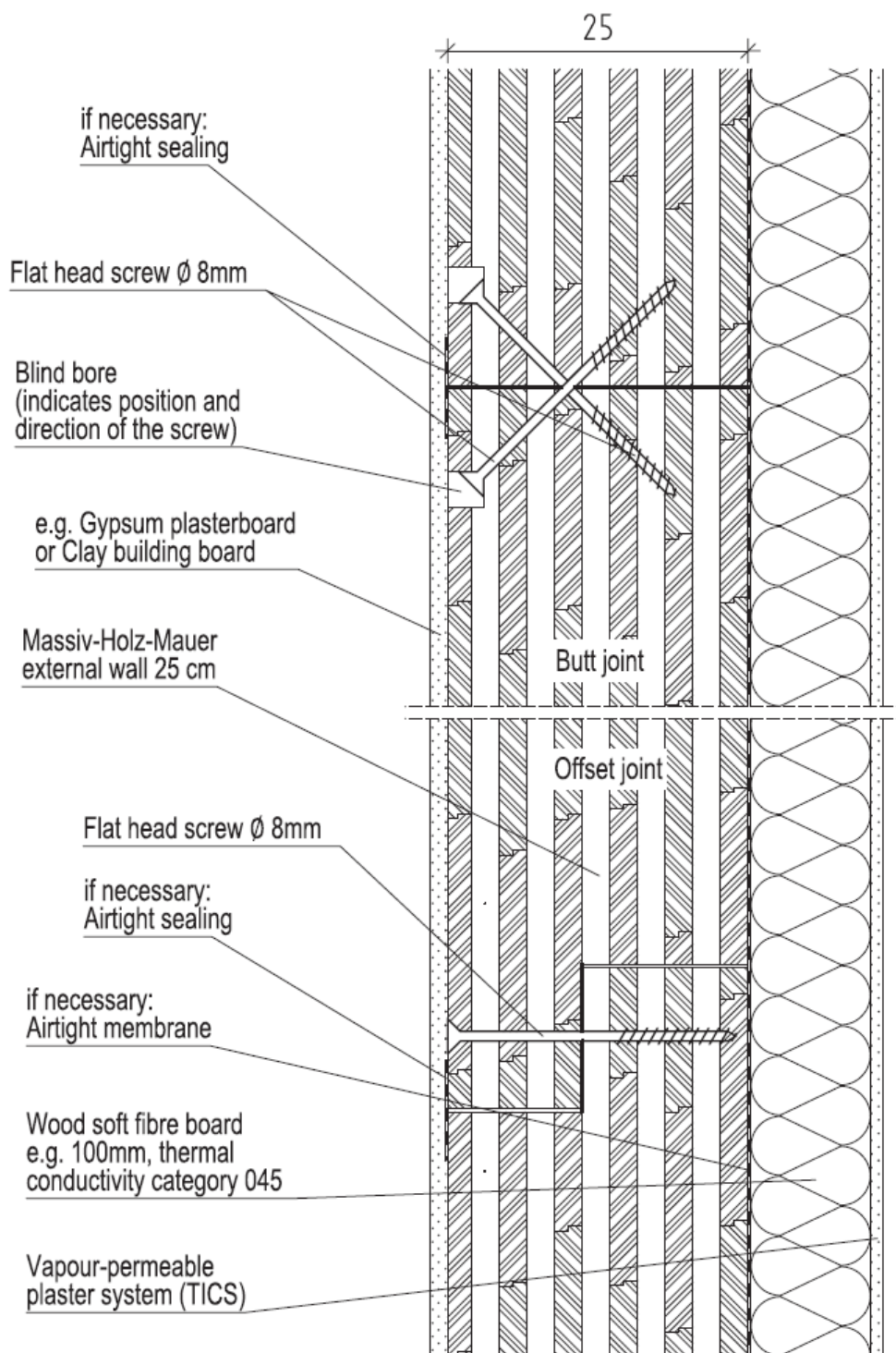






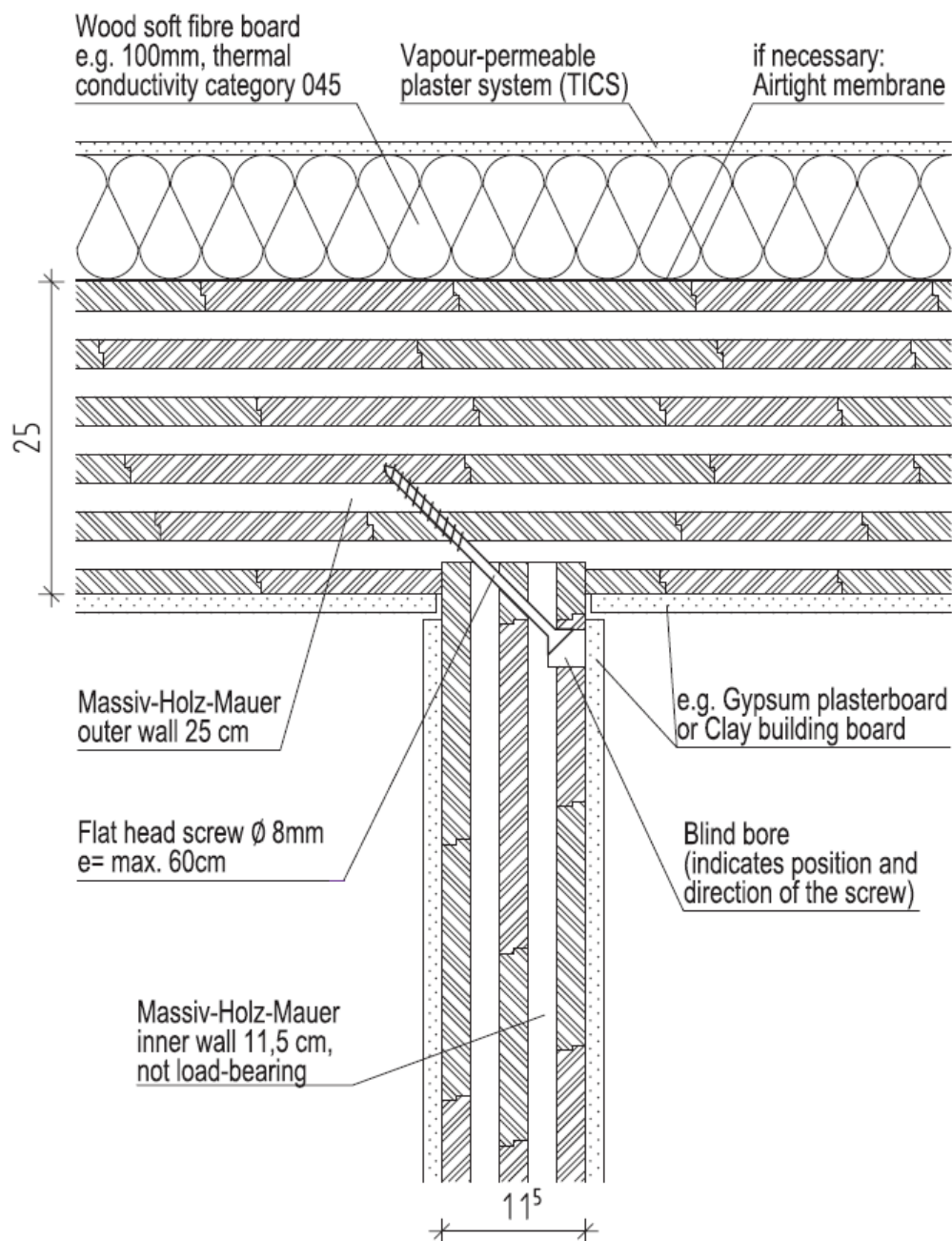
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
Auf der Geigerhalde 41
D-87459 Pfronten Weißbach
www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
Detail: 2.1 Element joints
Outer wall corner
MHM 25cm with TICS



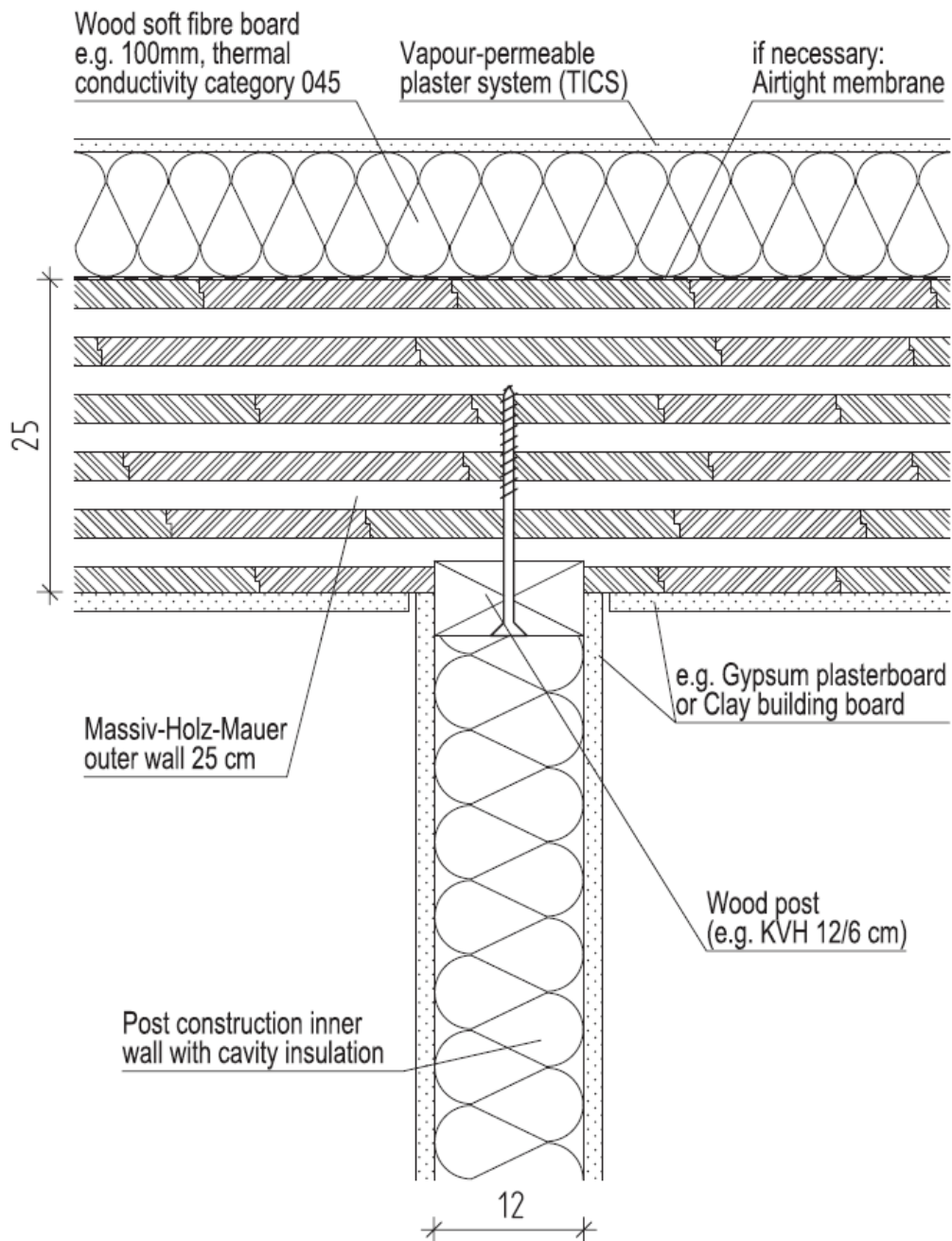
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 2.2 Element joints
 Longitudinal joint of an outer wall
 MHM 25cm with TICS



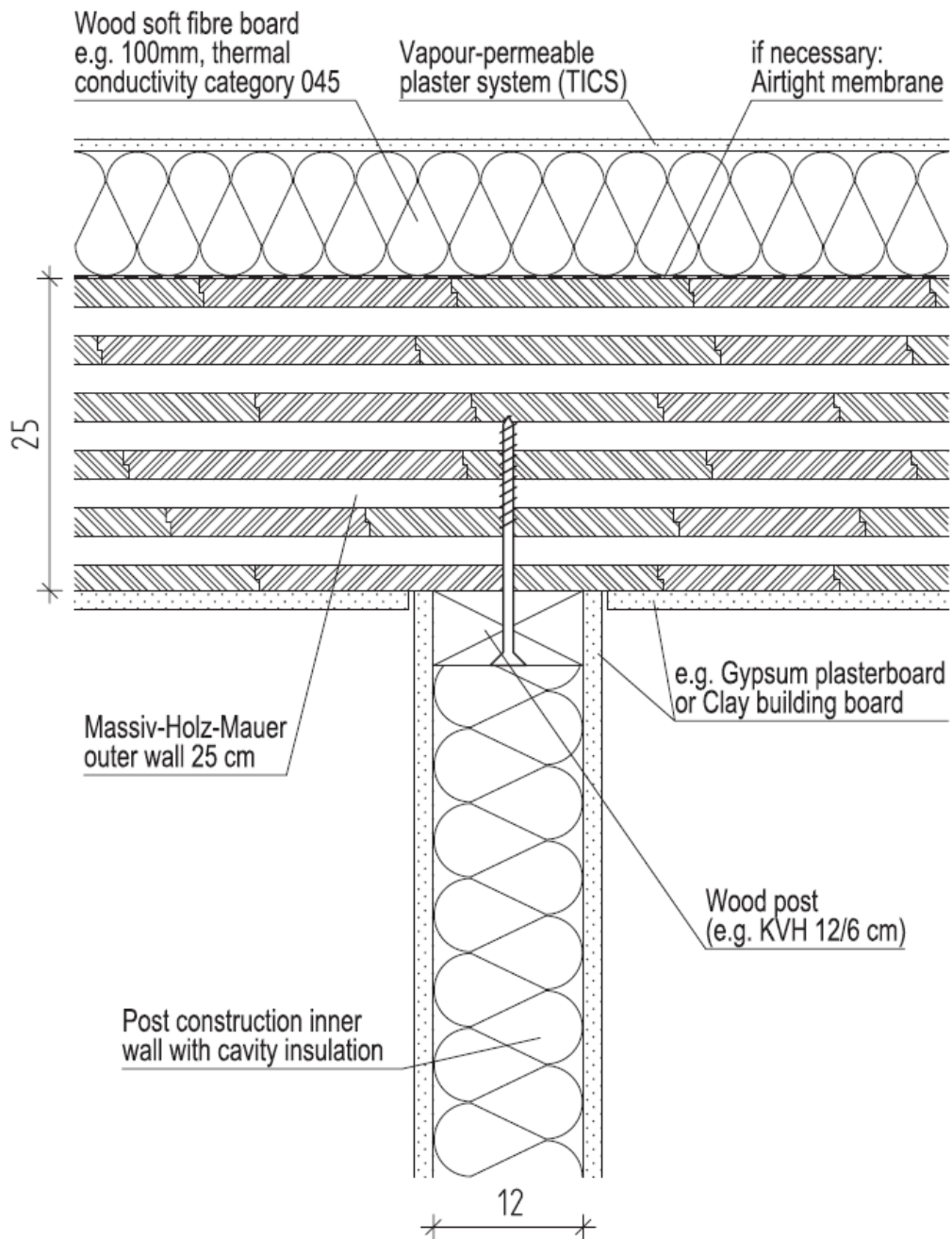
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
Auf der Geigerhalde 41
D-87459 Pfronten Weißbach
www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
Detail: 2.3 Element joints
Inner wall to outer wall (milled in)
MHM 11,5cm to MHM 25cm with TICS



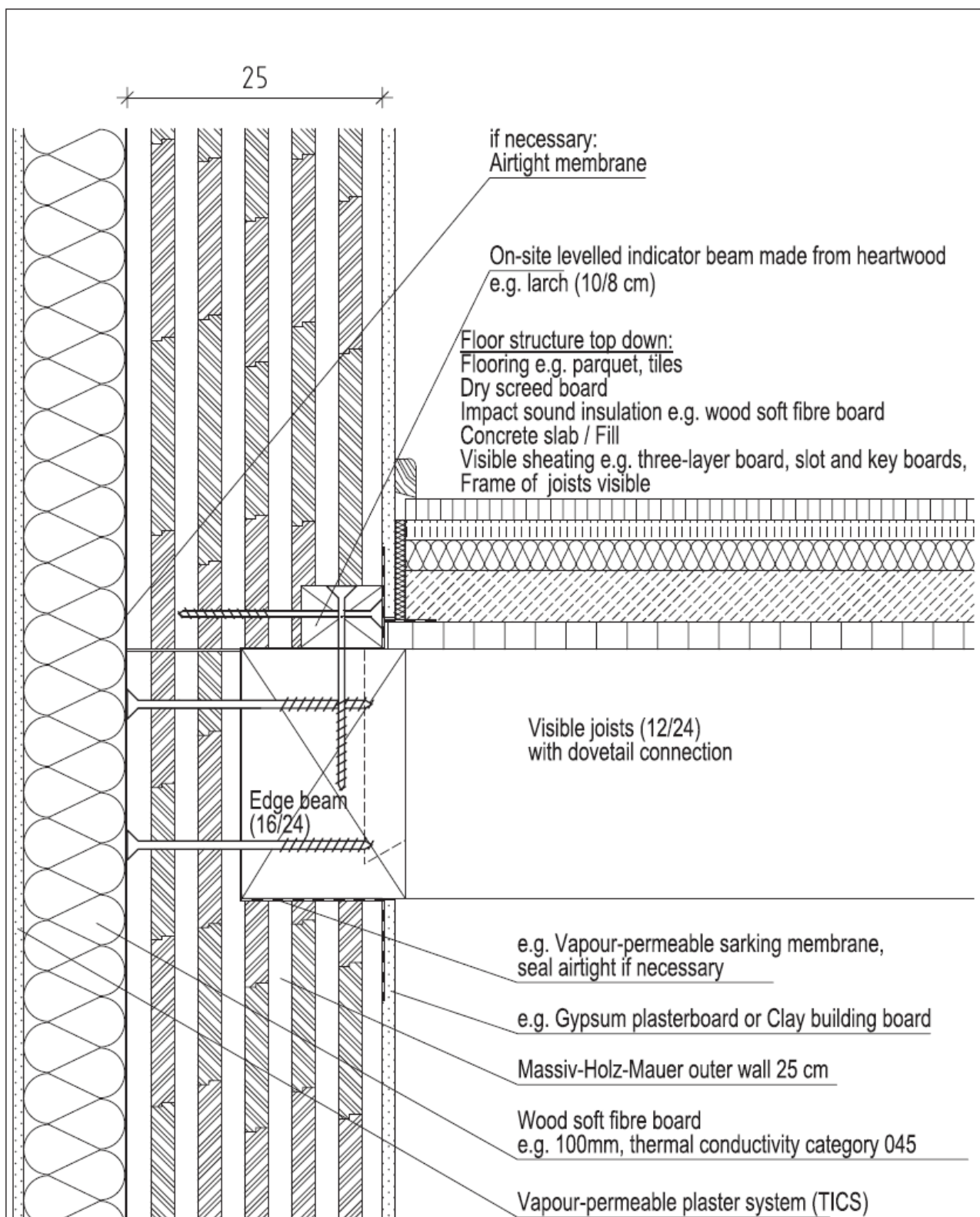
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
Auf der Geigerhalde 41
D-87459 Pfronten Weißbach
www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
Detail: 2.4 Element joints
Inner wall to outer wall (milled in)
Wood frame wall 12cm to MHM 25cm with TICS



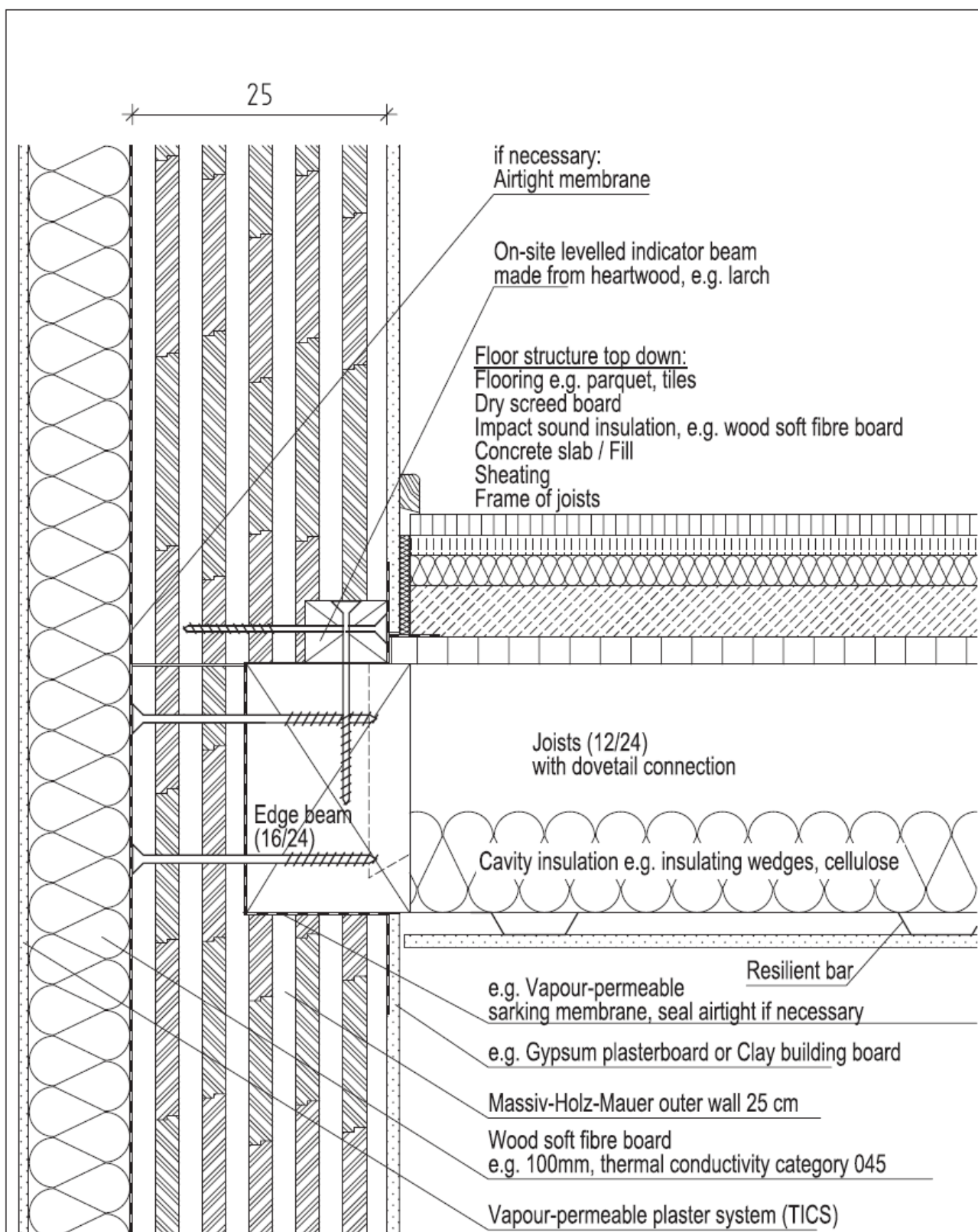
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
Auf der Geigerhalde 41
D-87459 Pfronten Weißbach
www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
Detail: 2.5 Element joints
Inner wall to outer wall
Wood frame wall 12cm to MHM 25cm with TICS



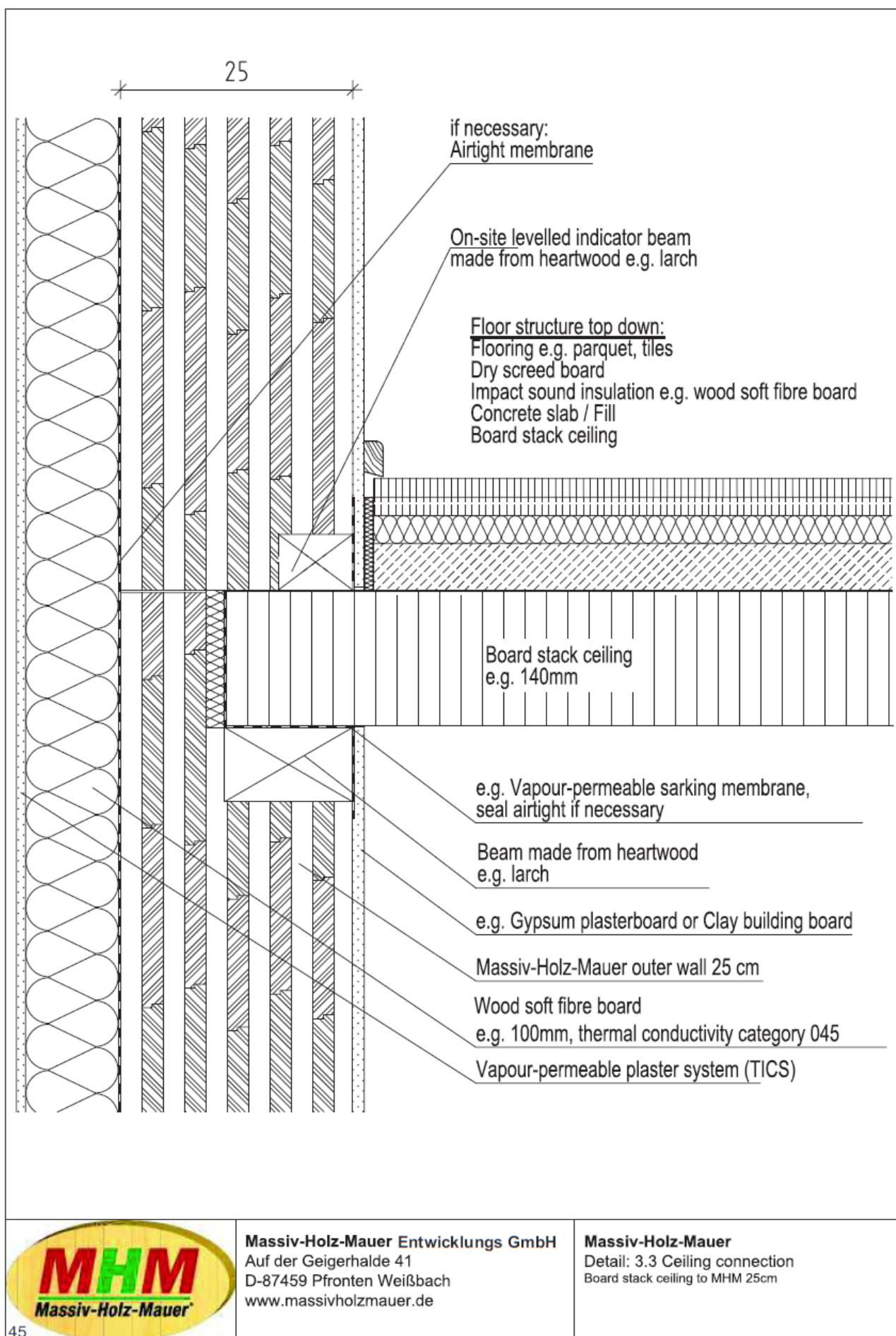
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
Auf der Geigerhalde 41
D-87459 Pfronten Weißbach
www.massivholzmauer.de

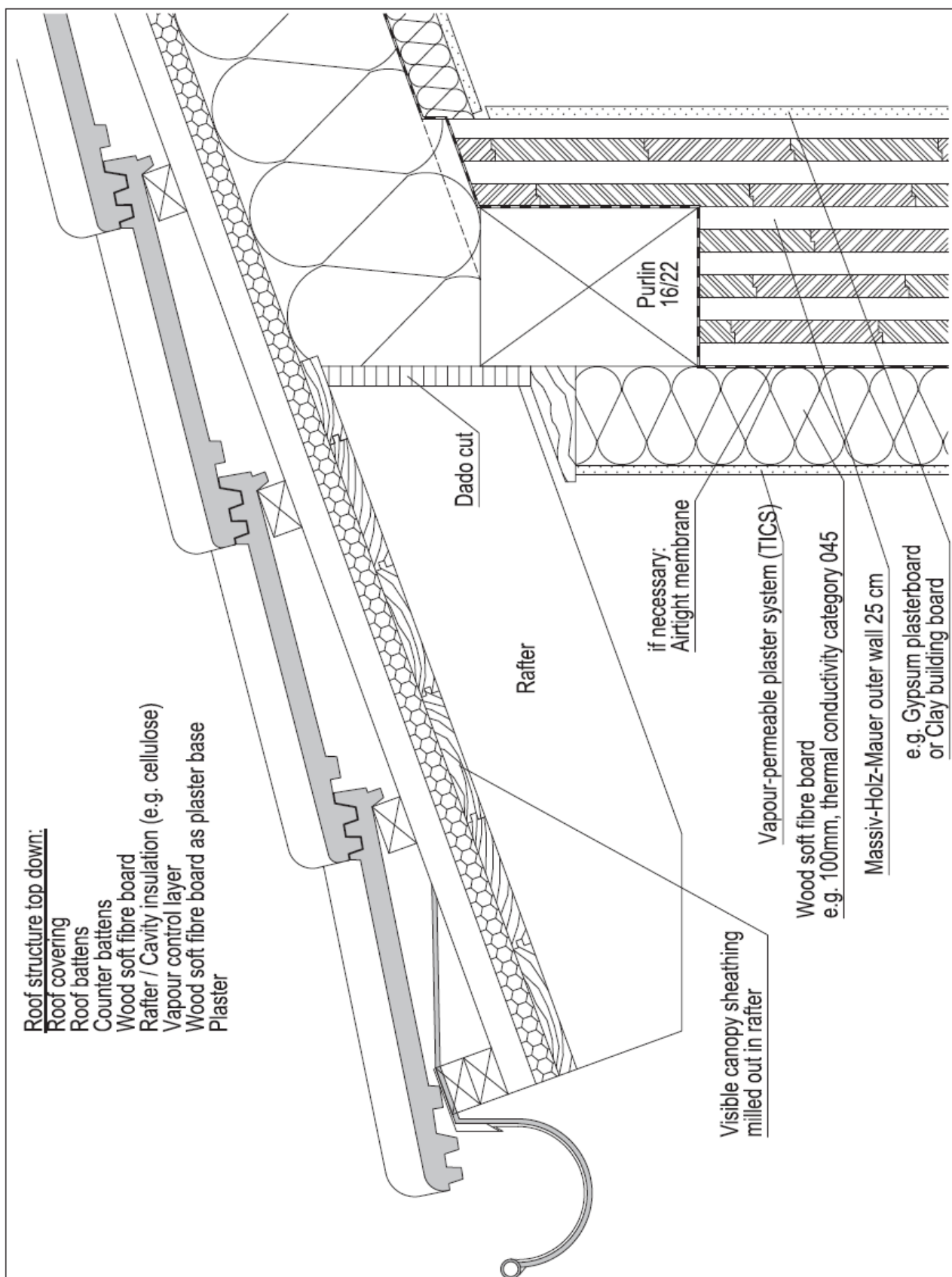
Massiv-Holz-Mauer
Detail: 3.1 Ceiling connection
Visible frame of joists to MHM 25cm



Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
Auf der Geigerhalde 41
D-87459 Pfronten Weißbach
www.massivholzmauer.de

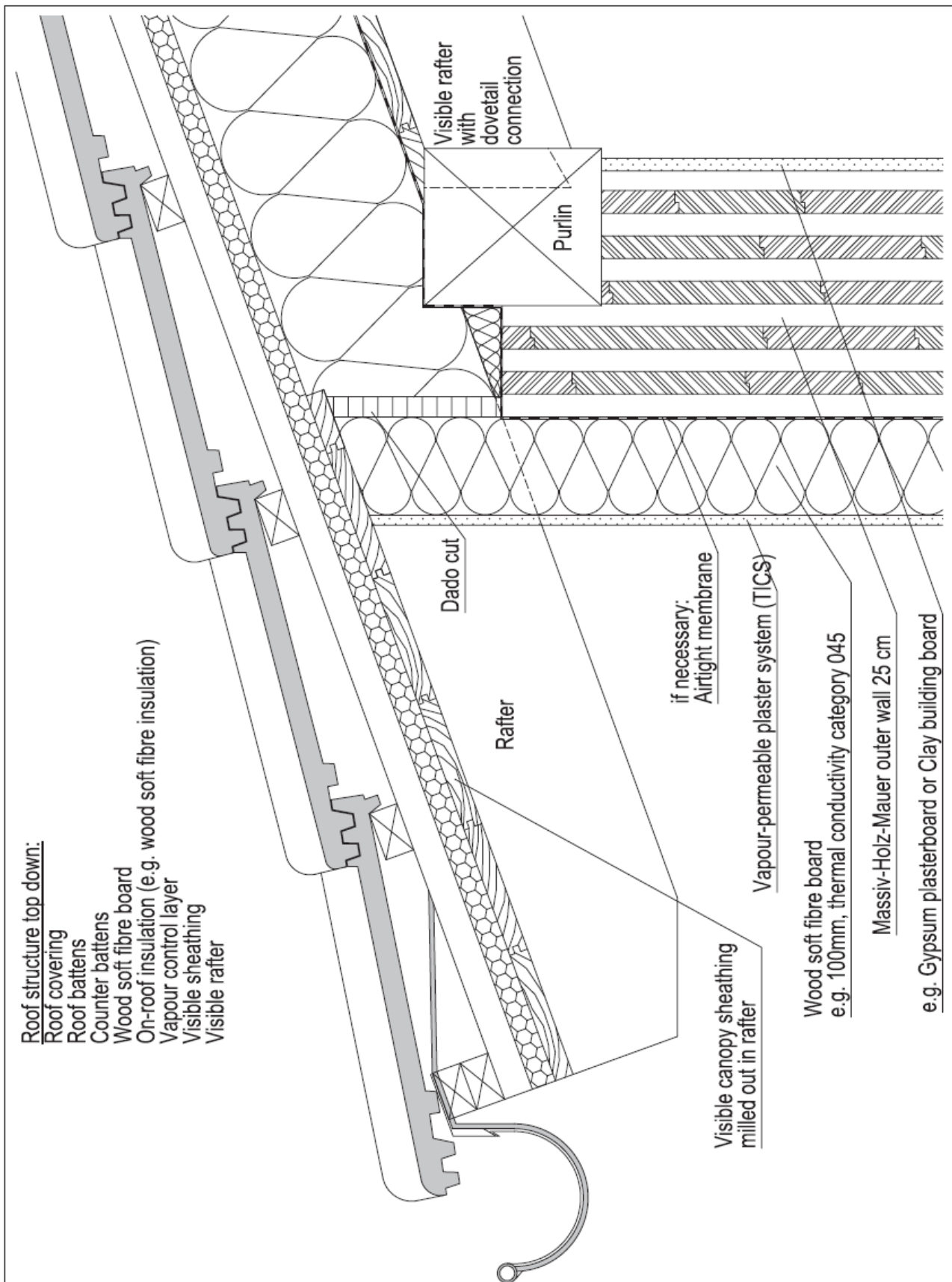
Massiv-Holz-Mauer
Detail: 3.2 Ceiling connection
Not visible frame of joist to MHM 25cm





Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 4.1 Eaves connection
 Truss not visible



Roof structure top down:
 Roof covering
 Roof battens
 Counter battens
 Wood soft fibre board
 On-roof insulation (e.g. wood soft fibre insulation)
 Vapour control layer
 Visible sheathing
 Visible rafter

Visible rafter with dovetail connection

Purlin

Dado cut

Rafter

if necessary:
 Airtight membrane

Vapour-permeable plaster system (TICS)

Wood soft fibre board
 e.g. 100mm, thermal conductivity category 045

Massiv-Holz-Mauer outer wall 25 cm

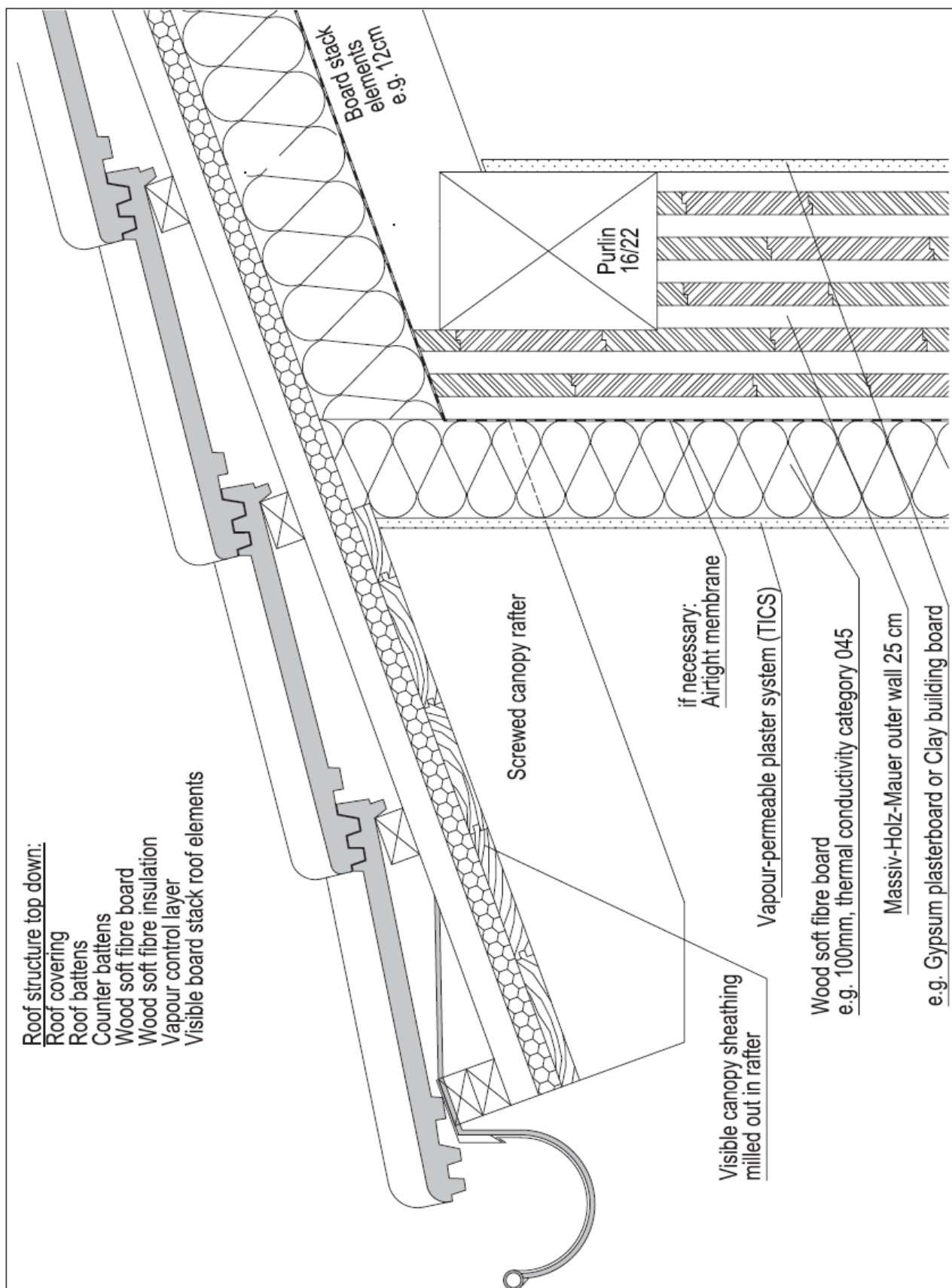
e.g. Gypsum plasterboard or Clay building board

Visible canopy sheathing milled out in rafter



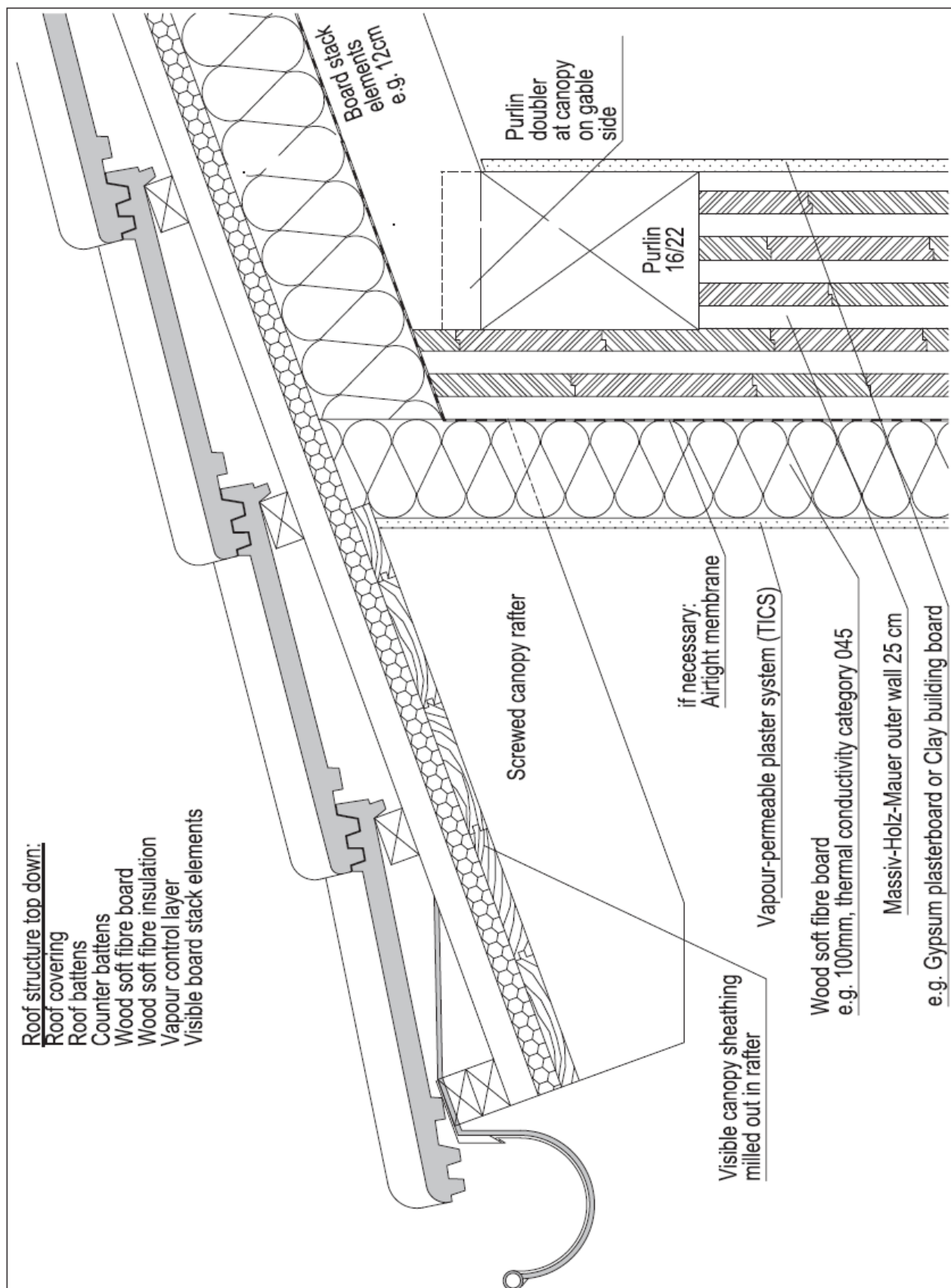
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 4.2 Eaves connection
 Truss visible
 Visible rafter with dovetail



Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
www.massivholzmauer.de

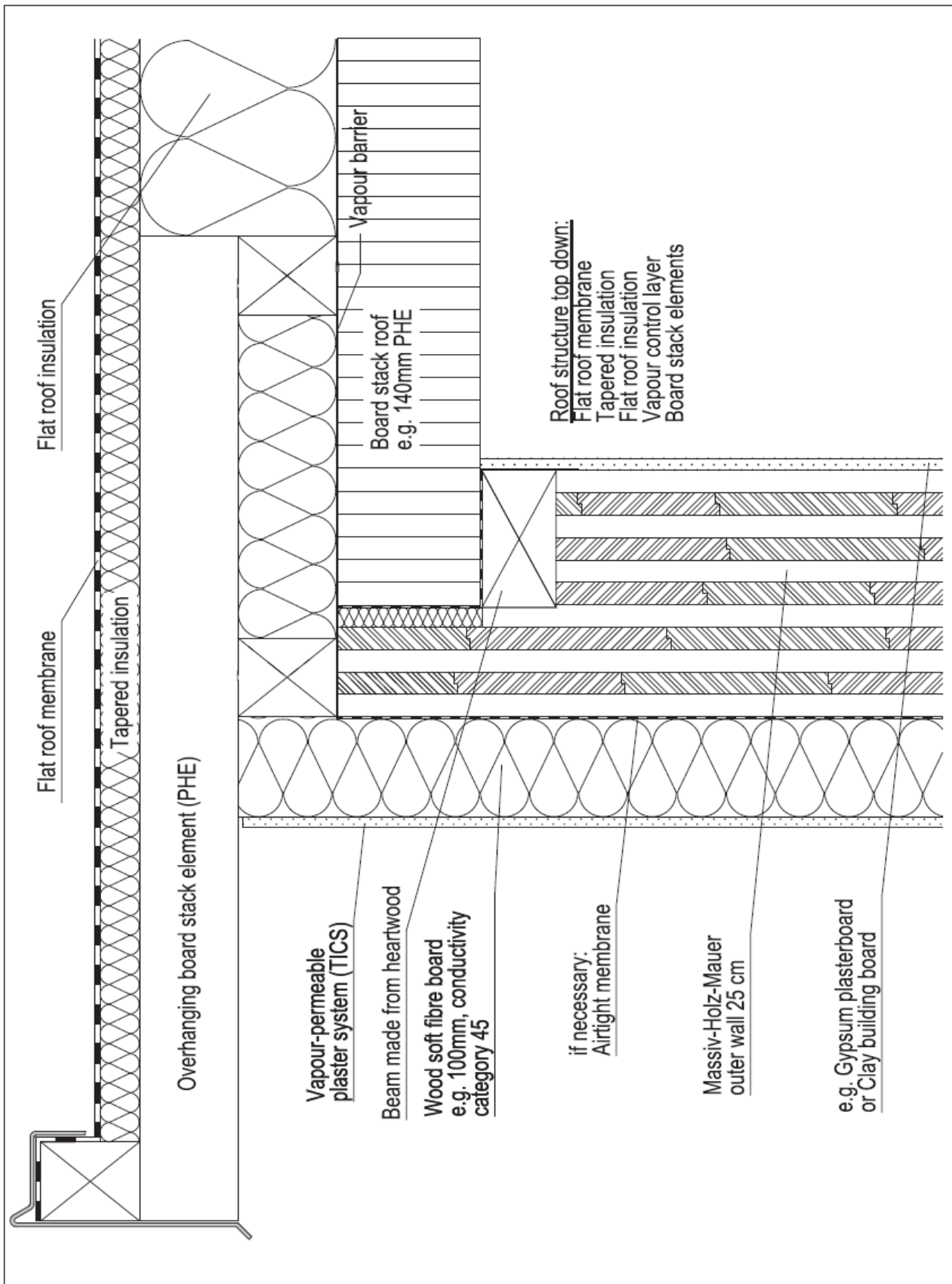
Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 4.3 Eaves connection
 Truss with board stack elements visible
 Canopy with screwed rafters



49

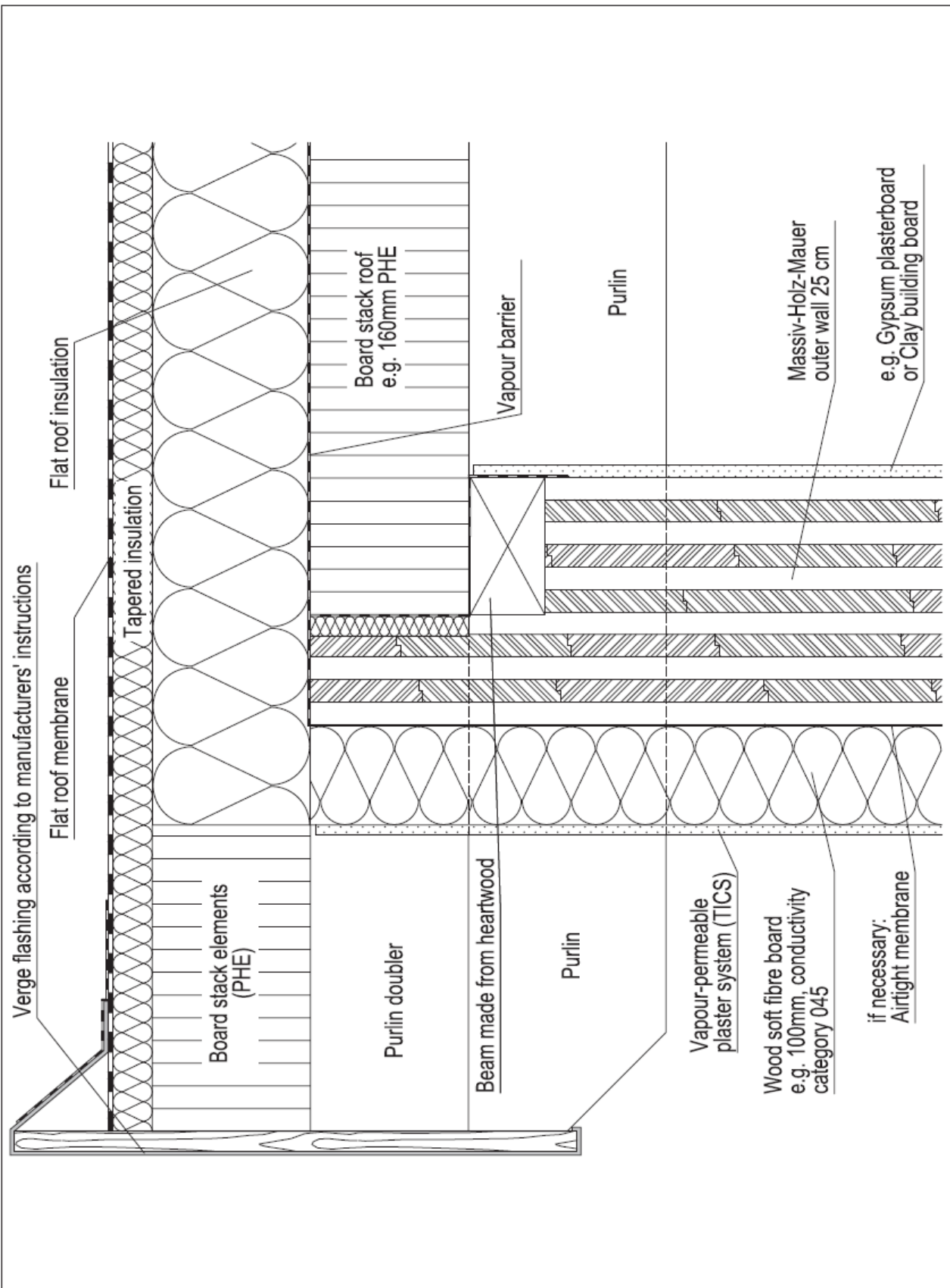
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 4.4 Eaves connection
 Truss with board stack elements visible
 Canopy with screwed rafters



Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 4.5 Canopy
 Flat roof of board stack elements
 Canopy of board stack elements (with roof parapet)

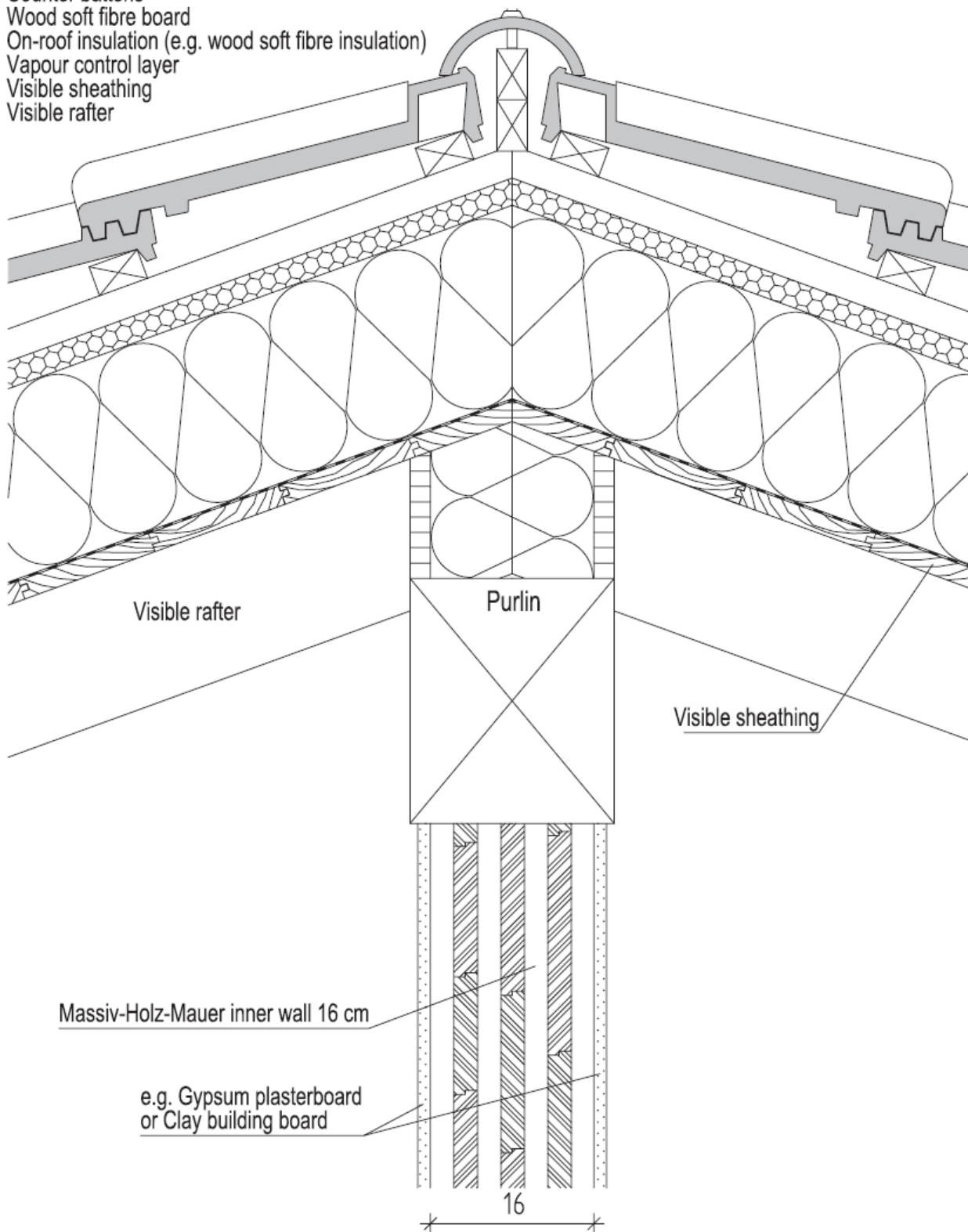


Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 4.6 Canopy
 Flat roof of board stack elements on purlins
 Canopy of board stack elements

Roof structure top down:

Roof covering
 Roof battens
 Counter battens
 Wood soft fibre board
 On-roof insulation (e.g. wood soft fibre insulation)
 Vapour control layer
 Visible sheathing
 Visible rafter

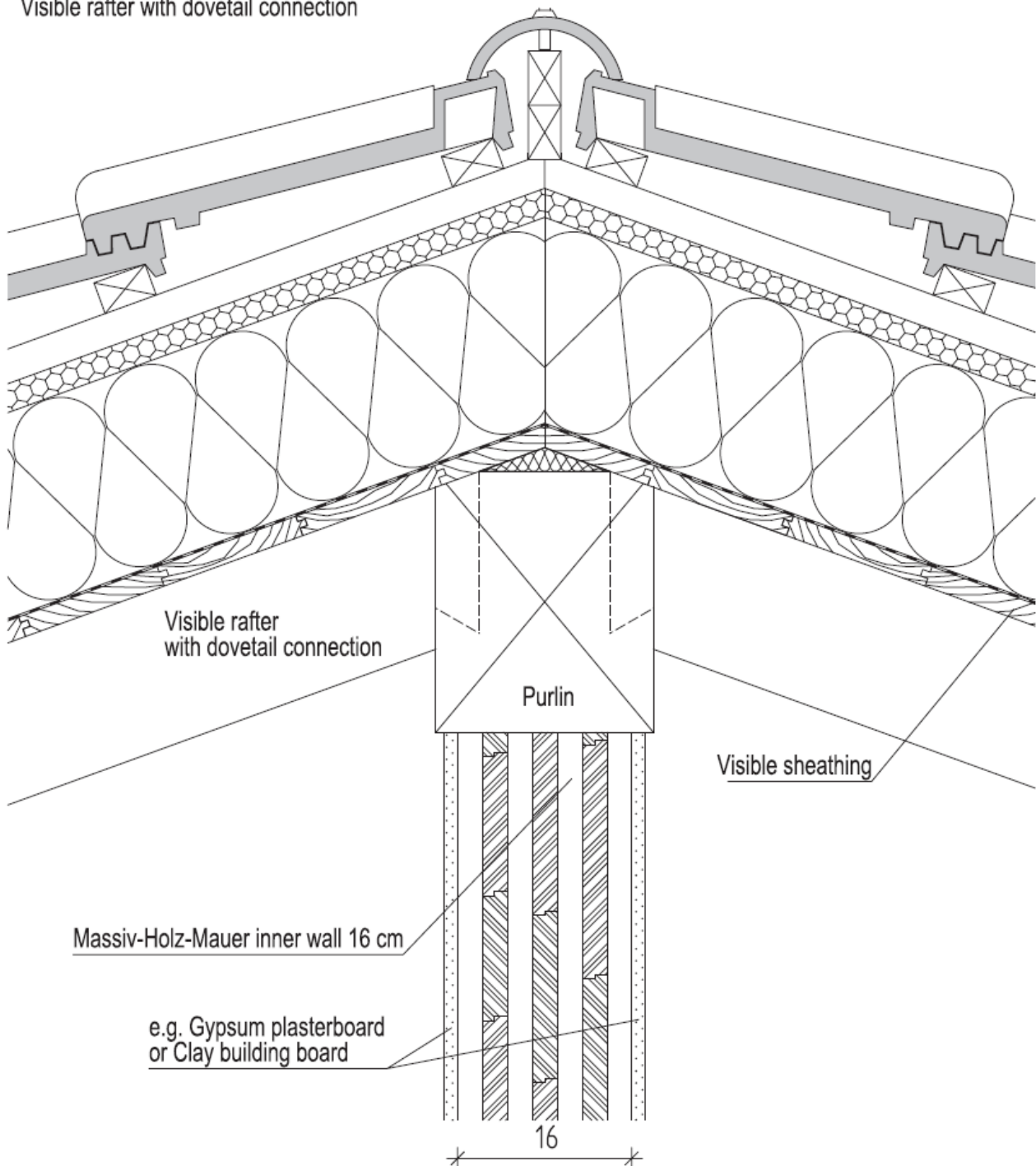


Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 5.1 Ridge detail
 Truss visible

Roof structure top down:

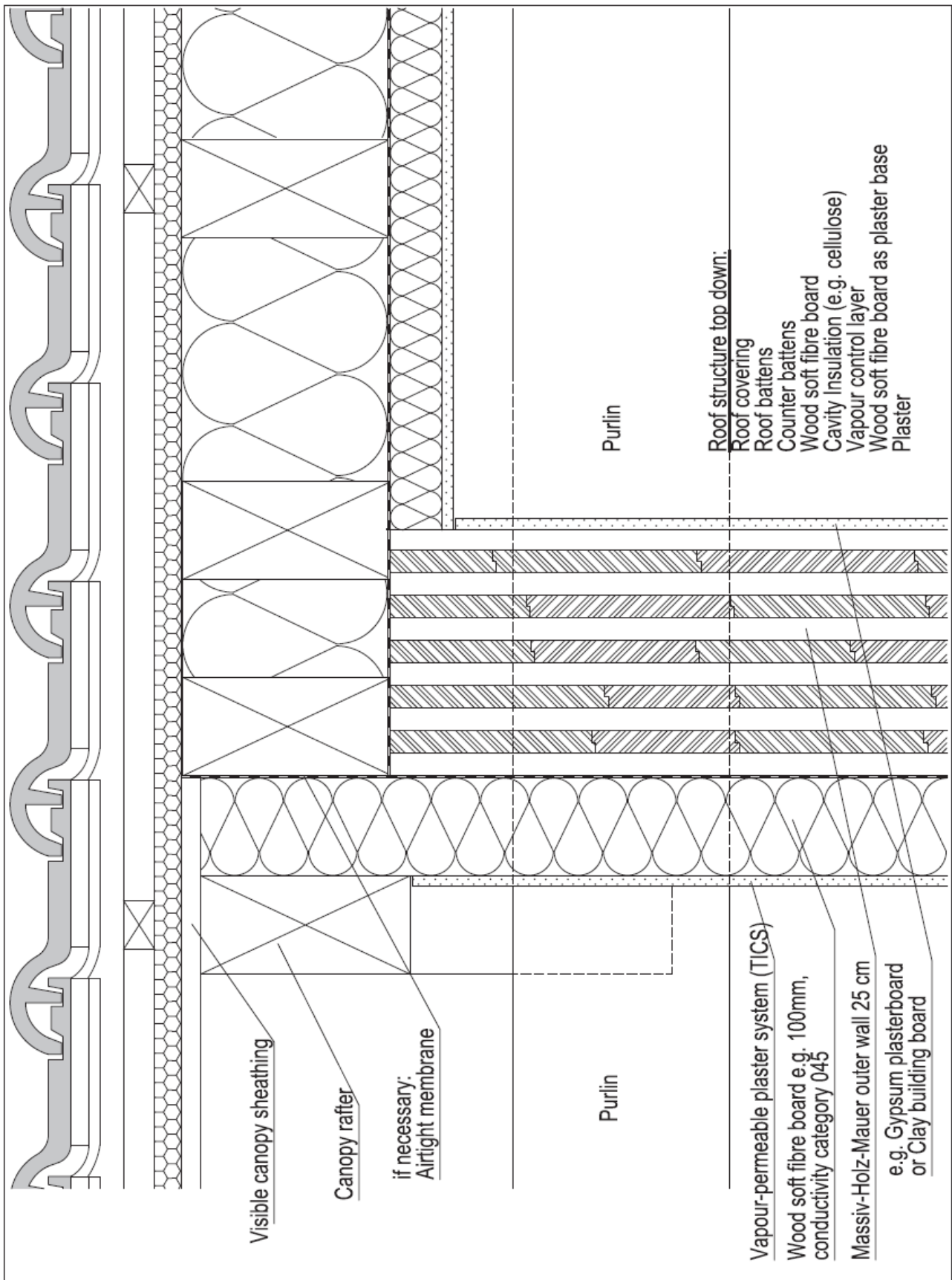
Roof covering
 Roof battens
 Counter battens
 Wood soft fibre board
 On-roof insulation (e.g. wood soft fibre insulation)
 Vapour control layer
 Visible sheathing
 Visible rafter with dovetail connection



53

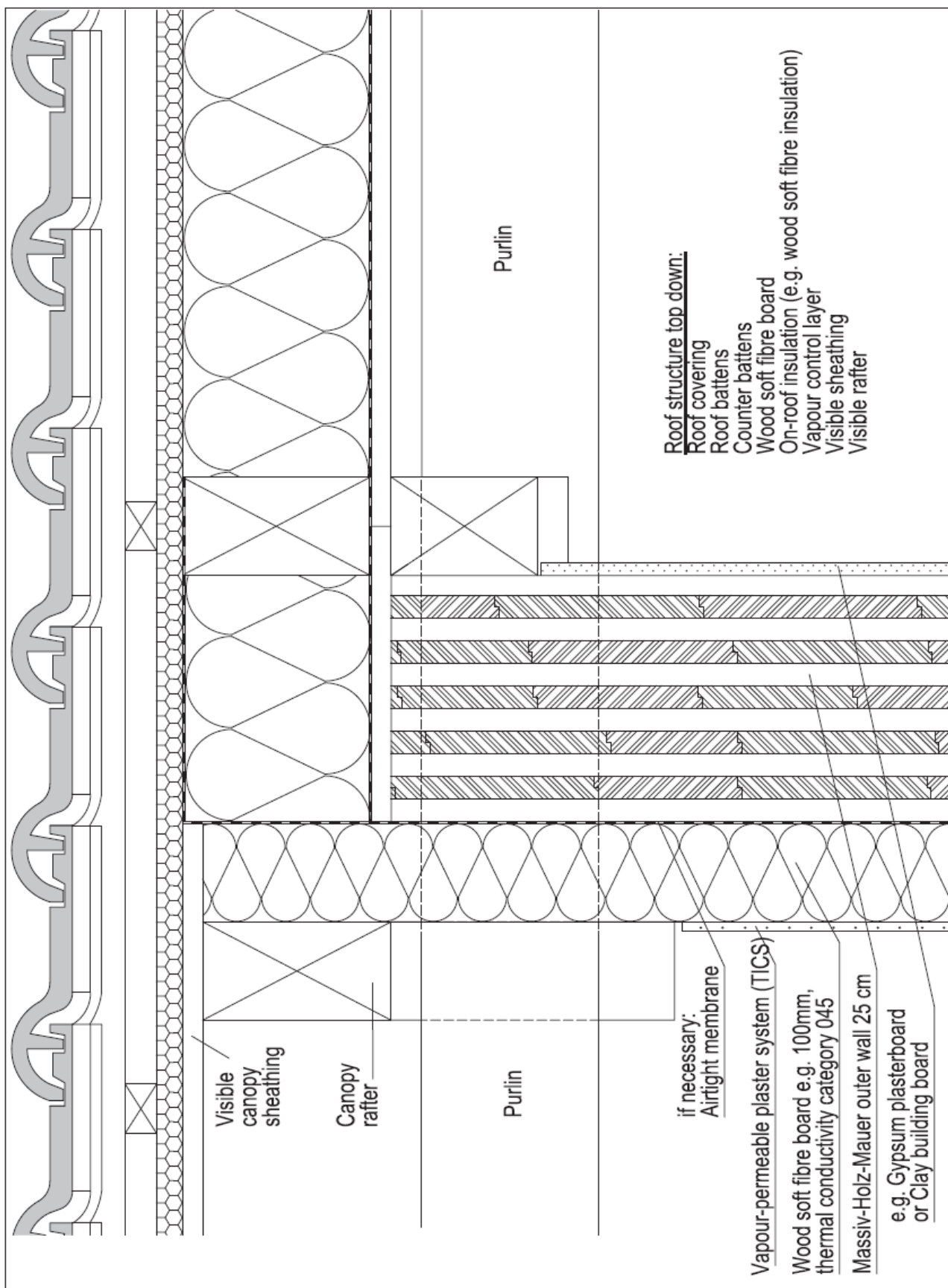
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 5.2 Ridge detail
 Truss visible
 Rafters with dovetail connection



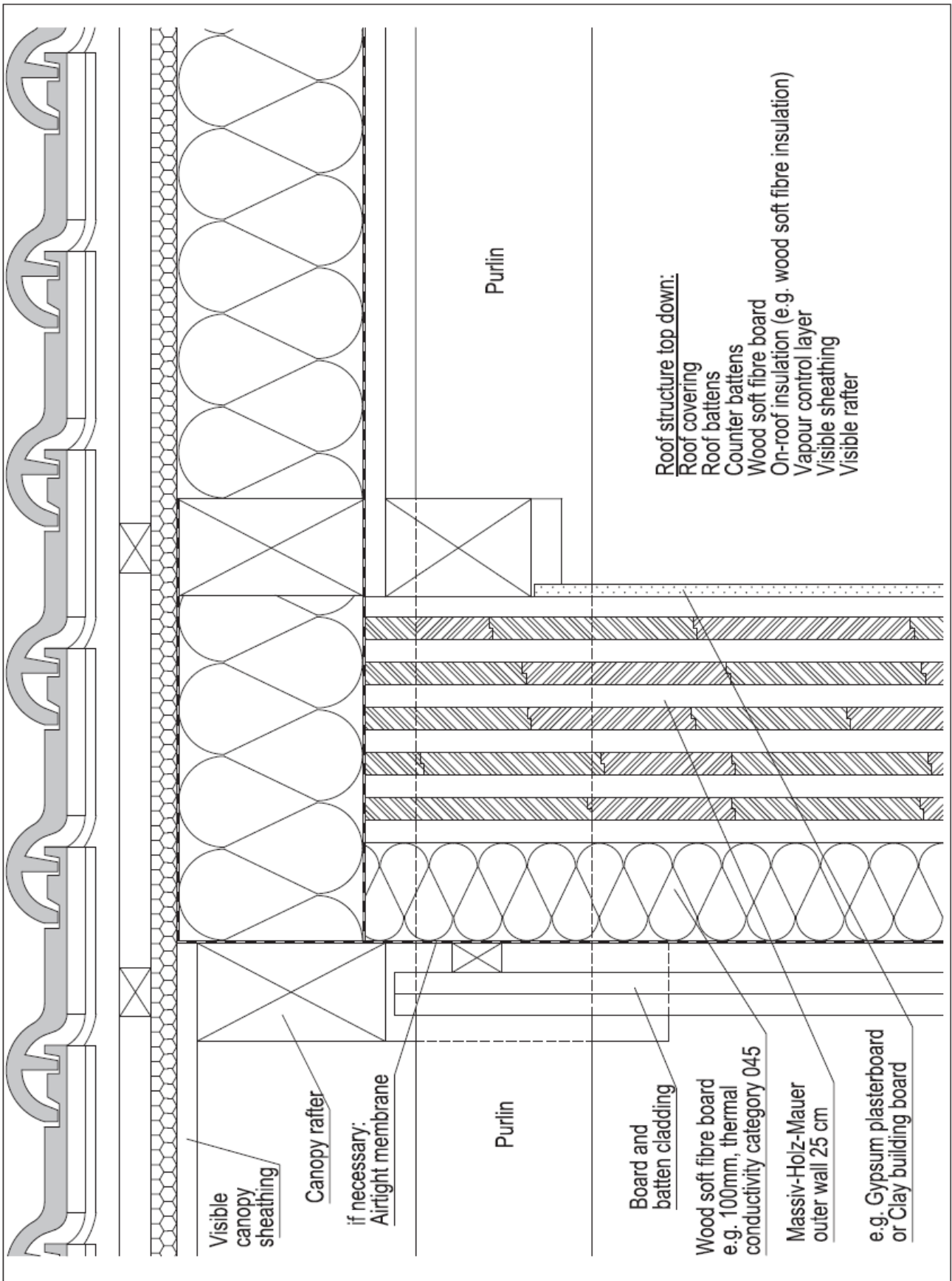
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 6.1 Verge
 MHM 25cm to not visible truss
 Plaster facade



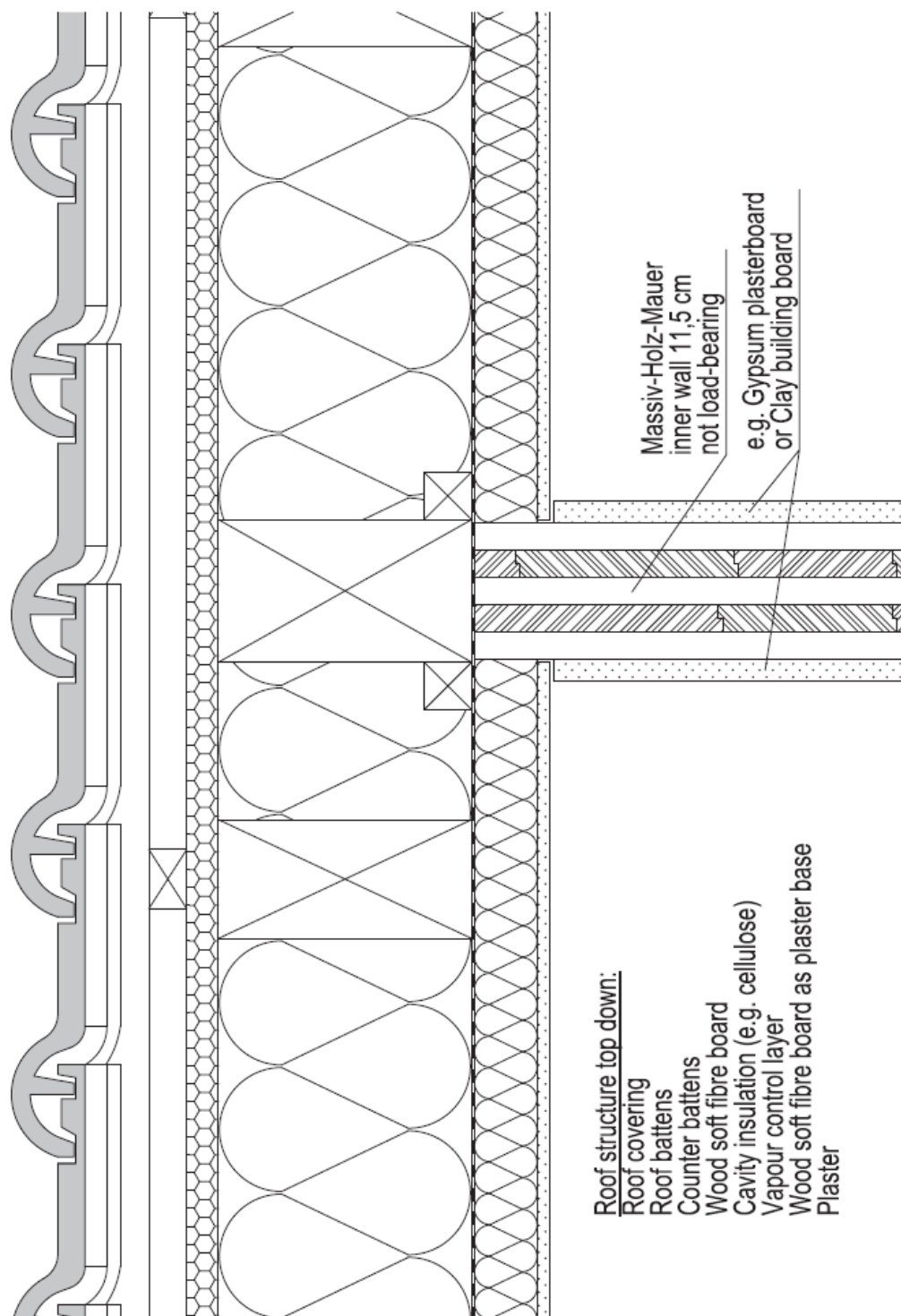
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 6.2 Verge
 MHM 25cm to visible truss
 Plaster facade



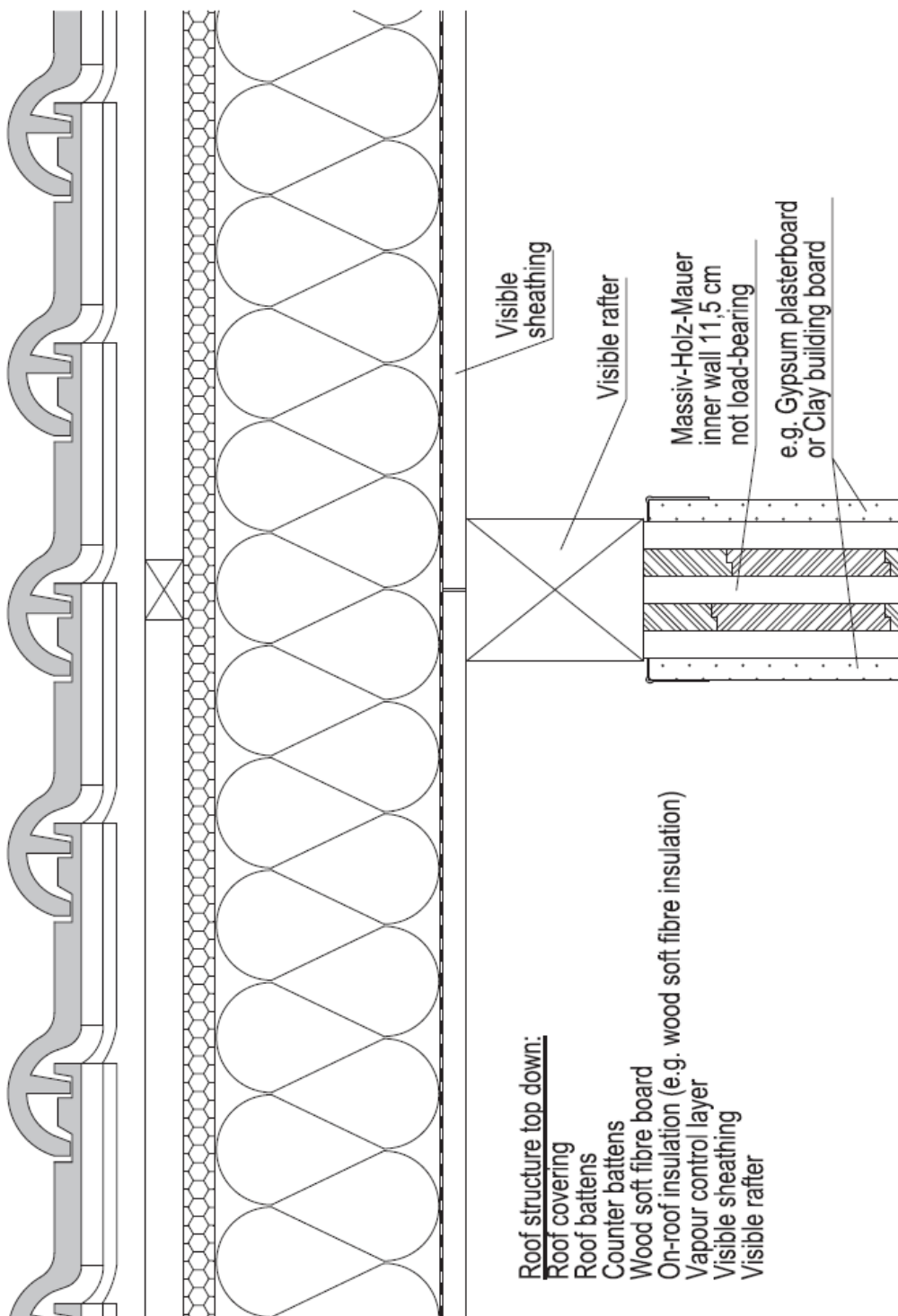
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-holz-Mauer
 Detail: 6.3 Verge
 MHM 25cm to visible truss
 Wood facade



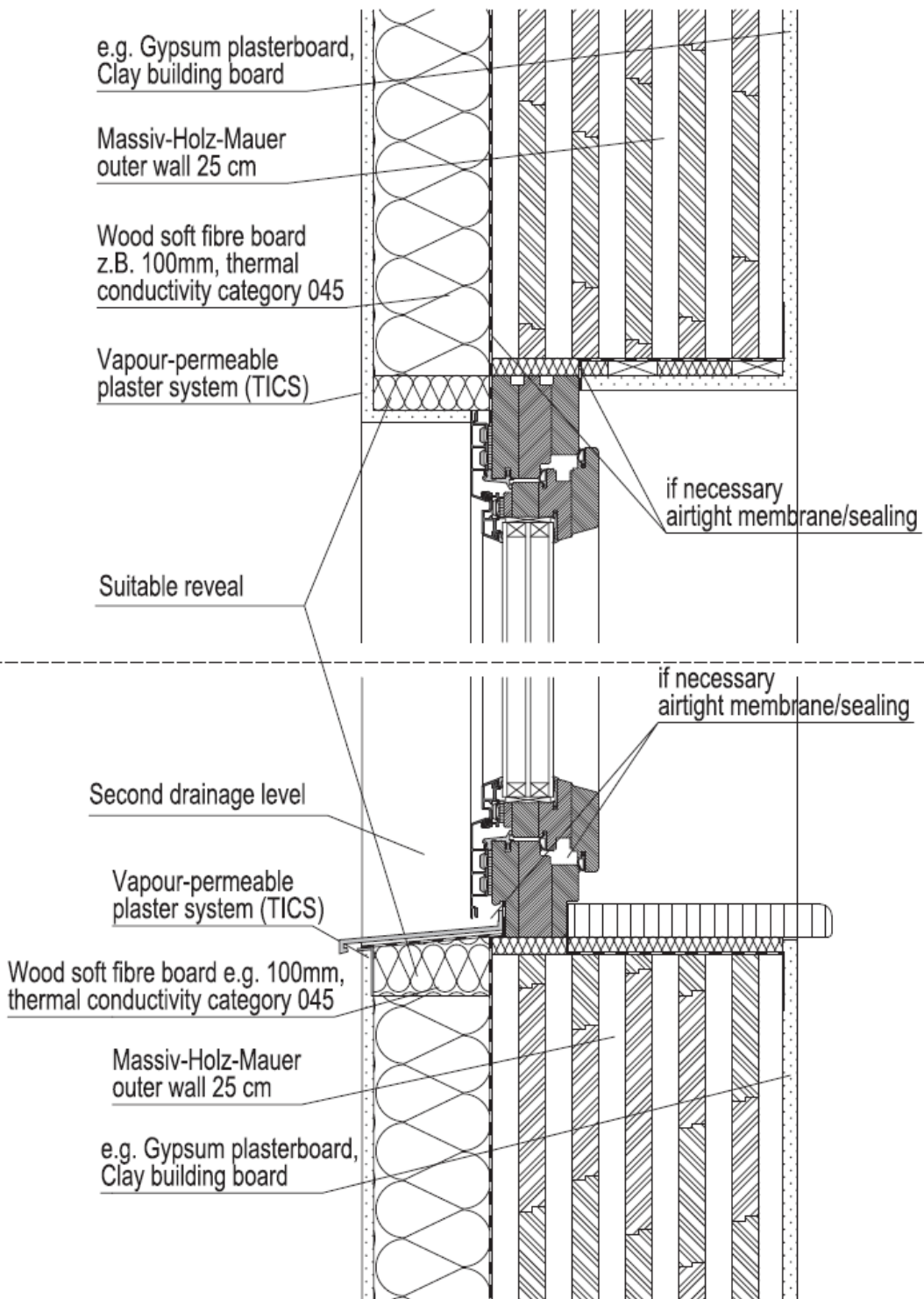
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
Auf der Geigerhalde 41
D-87459 Pfronten Weißbach
www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
Detail: 6.4 Roof connection
MHM 11,5cm to not visible truss



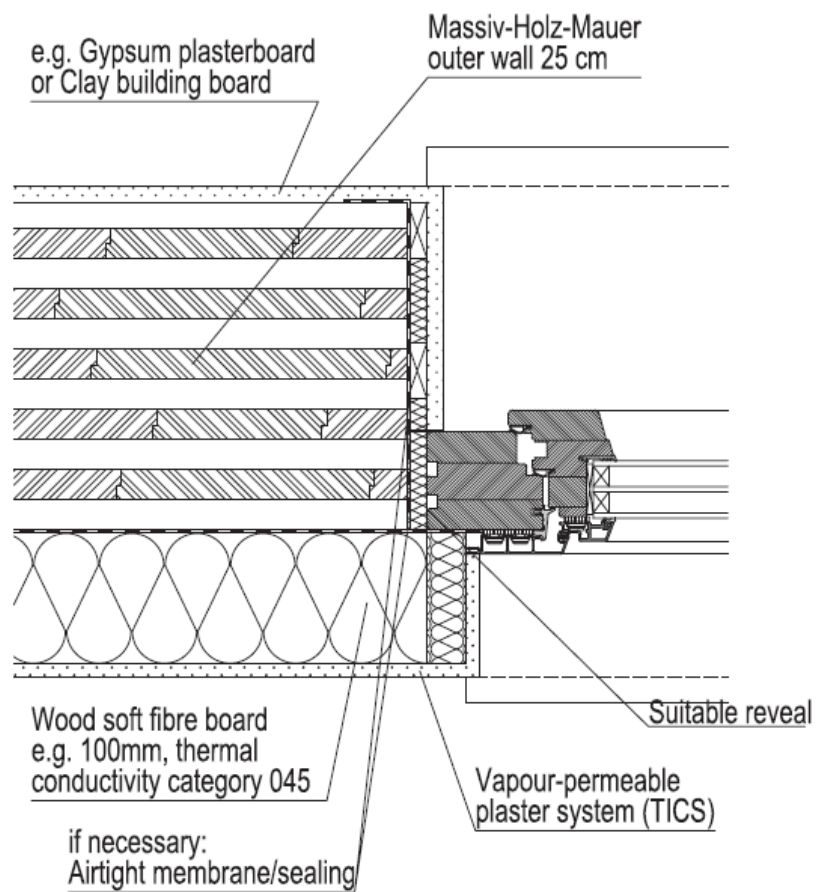
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 6.5 Roof connection
 MHM 11,5cm to visible truss



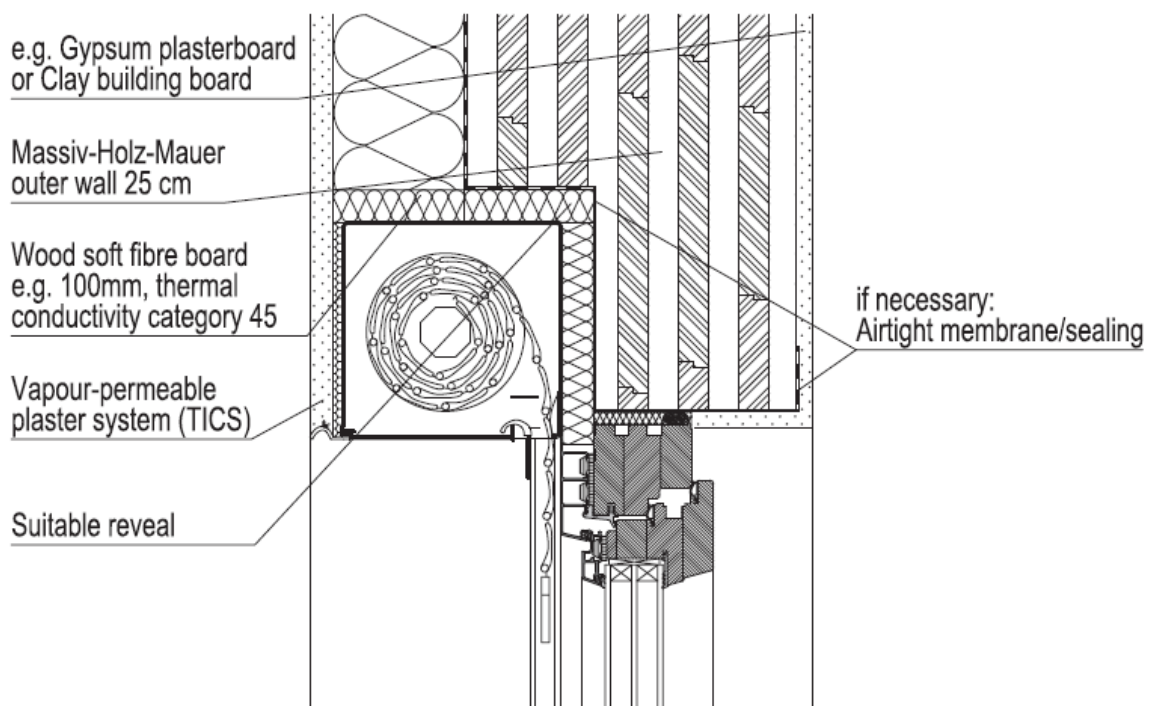
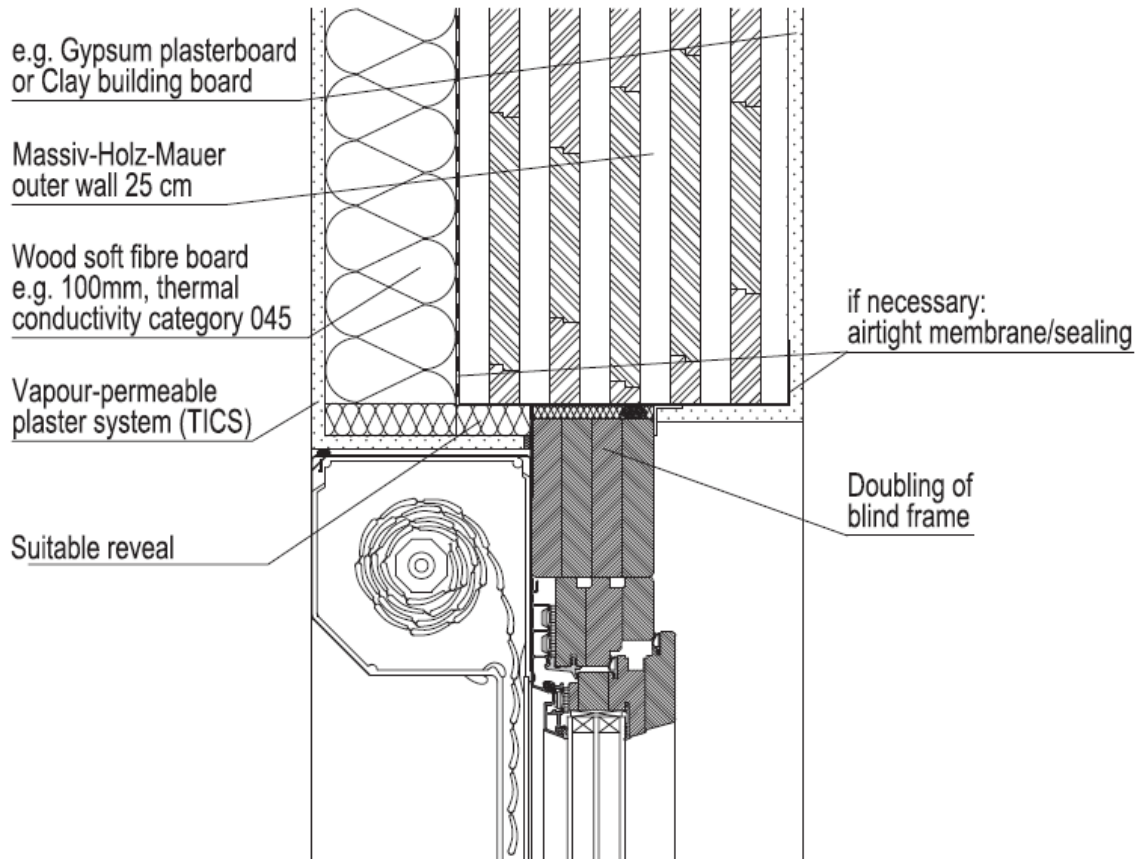
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 7.1 Window connection
 Connection bottom (MHM 25cm)



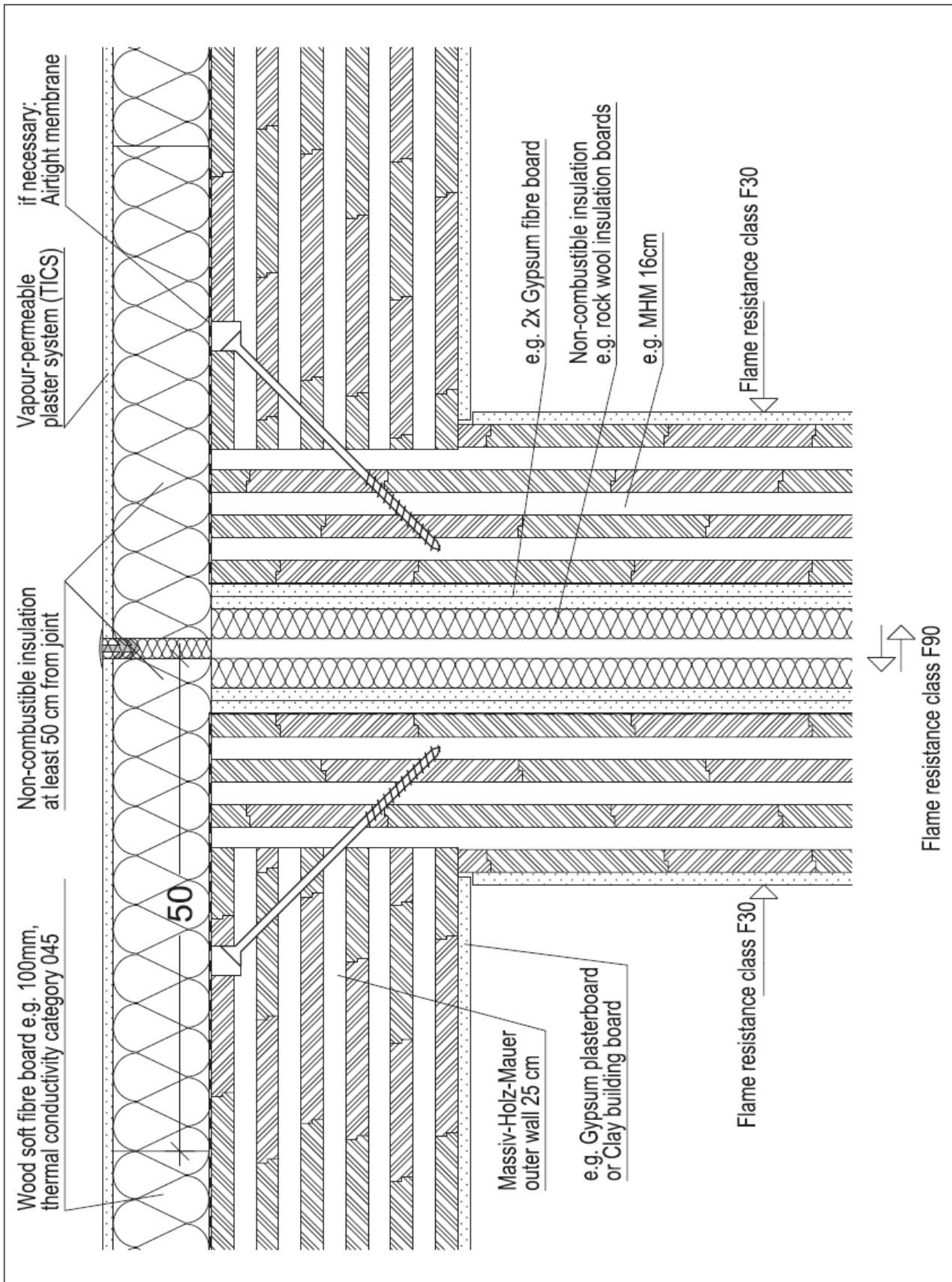
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
Auf der Geigerhalde 41
D-87459 Pfronten Weißbach
www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
Detail: 7.3 Window connection
Connection side (MHM 25cm)



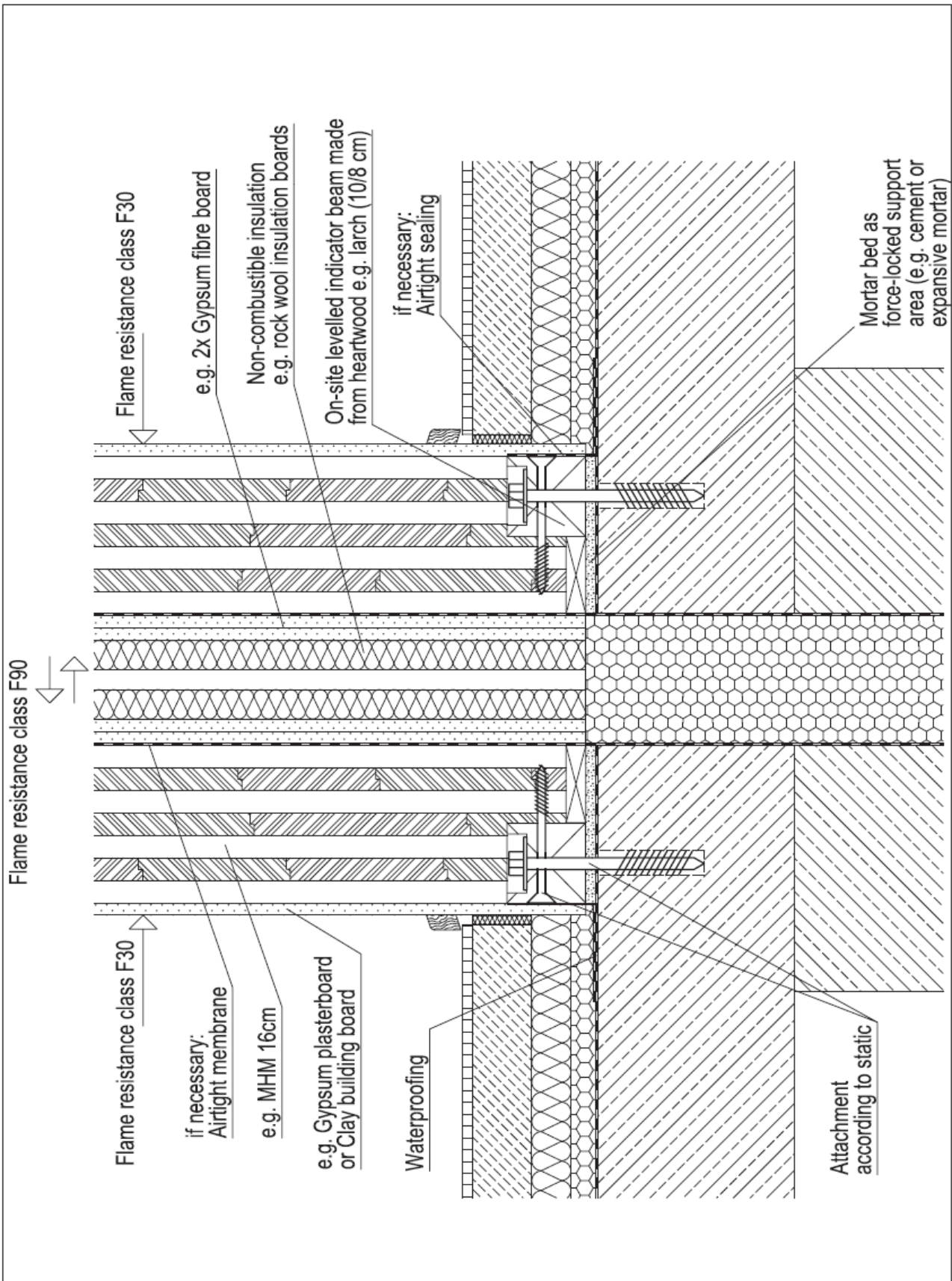
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 7.4 Window connection
 Connection top (MHM 25cm)
 With roller shutter casing



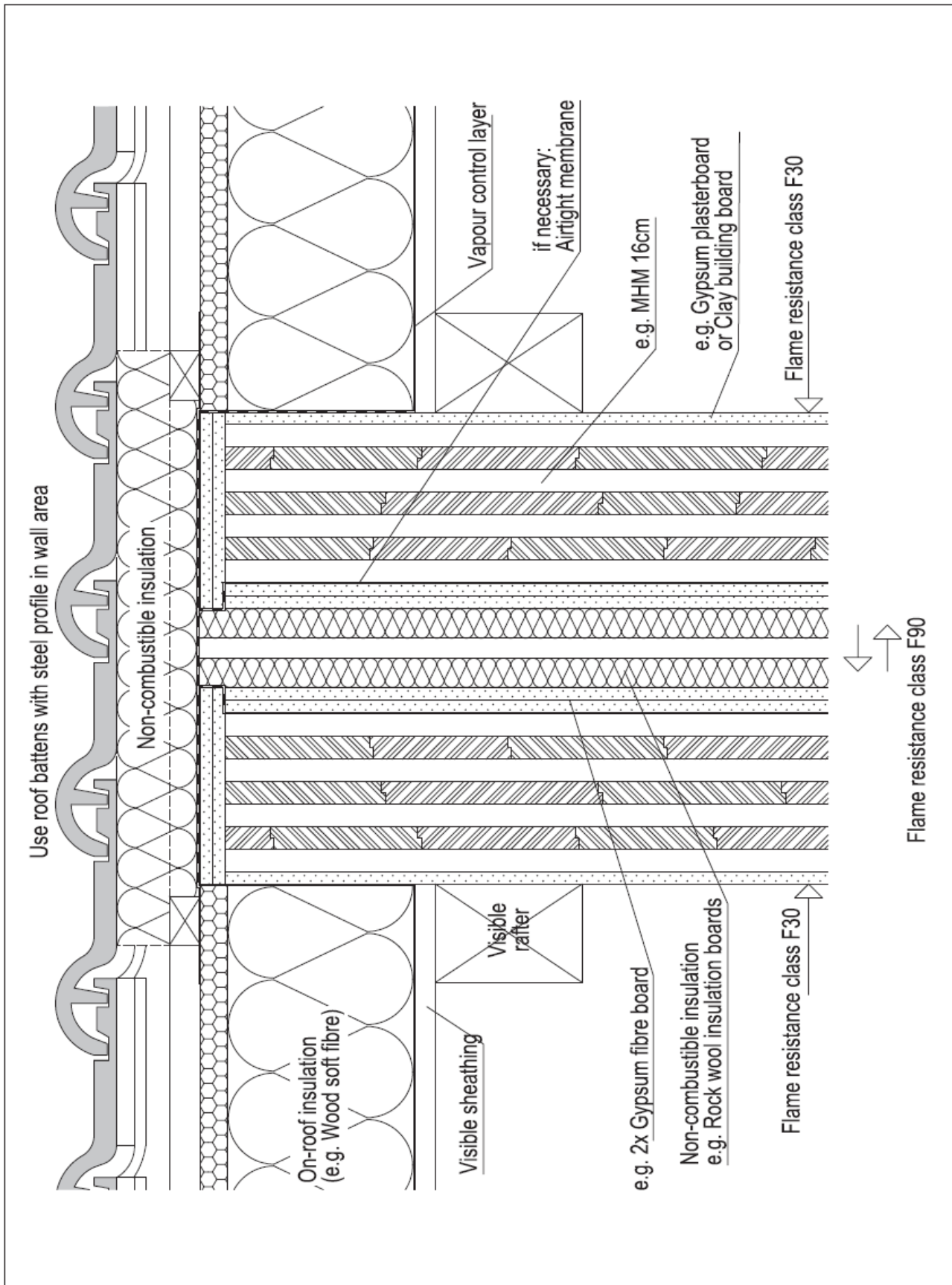
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 8.1 Building partition wall
 Horizontal section



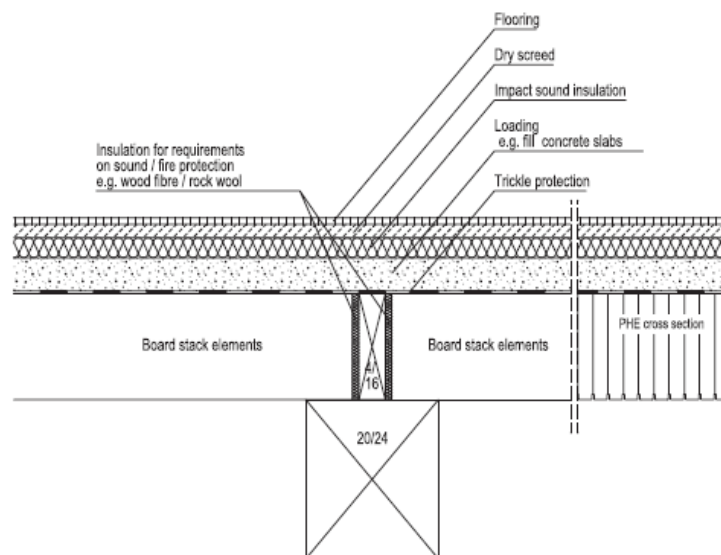
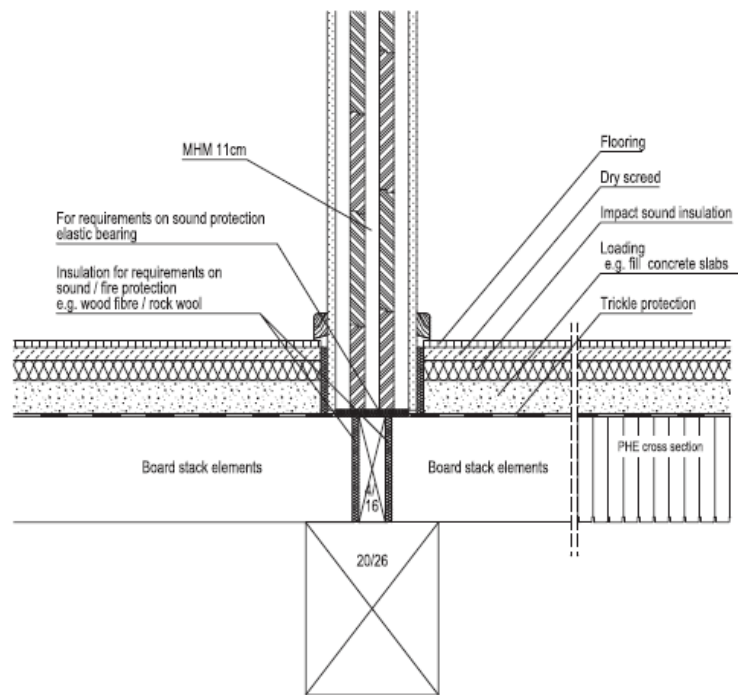
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 8.2 Building partition wall
 Vertical section, connection on concrete



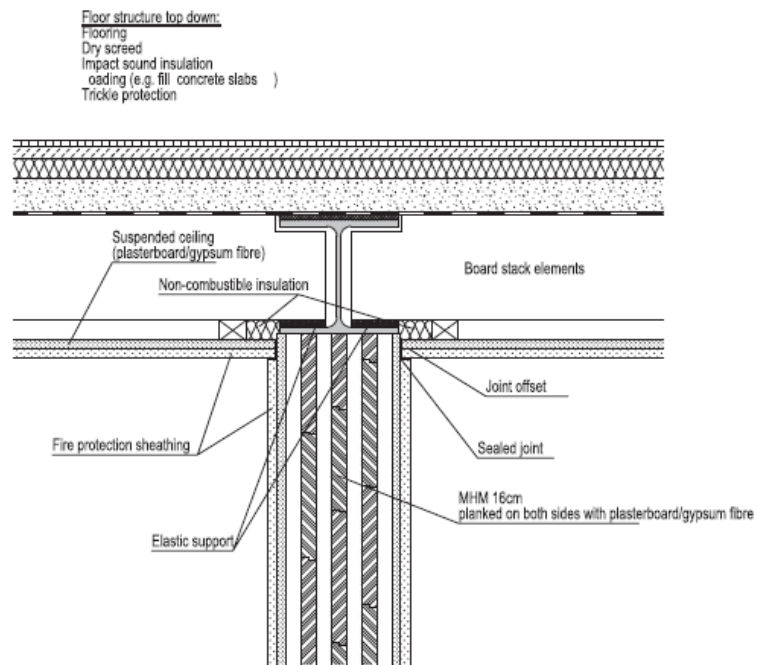
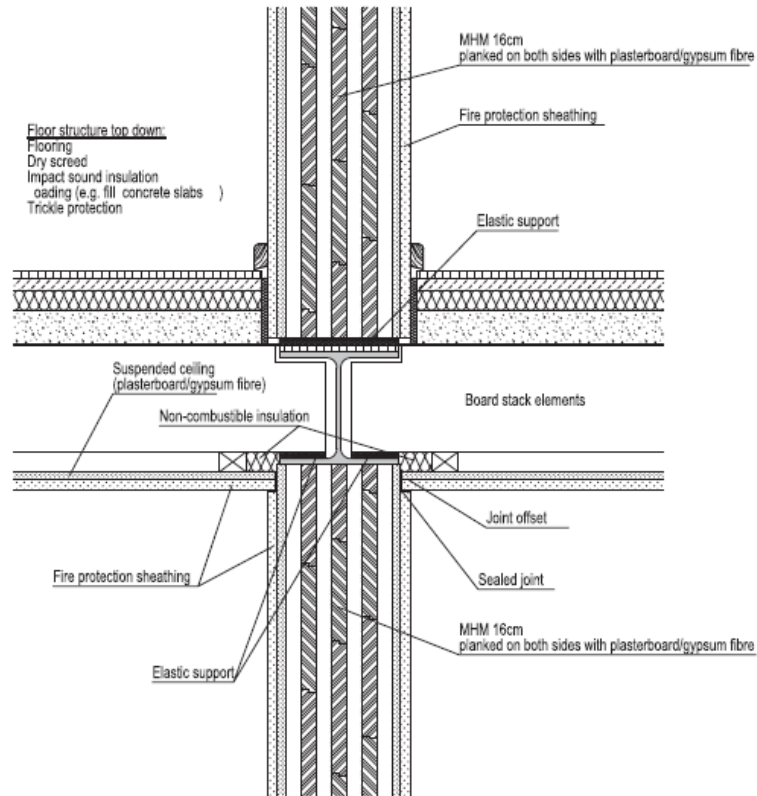
Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 8.3 Building partition wall
 Vertical section, connection to exposed roof truss



Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 9.1 Joists
 PHE on wooden joist
 With and without above inner wall



Massiv-Holz-Mauer Entwicklungs GmbH
 Auf der Geigerhalde 41
 D-87459 Pfronten Weißbach
 www.massivholzmauer.de

Massiv-Holz-Mauer
 Detail: 9.2 Joists
 PHE on steel joists
 With and without above inner wall
 Version with enhanced sound and
 fire protection properties

LIITE 5: MITOITUSTYÖKALUN OHJEET

MHM-RAKENNEOSIEN MITOITUSTYÖKALUN OHJEET

Seuraavat mitoitusohjeet perustuvat Massivholzmauer.de -sivustolta ladattavaan alkuperäiseen käyttöohjeeseen MHM Guideline for the calculation sheets for structural verification of MHM components (2017). Käännökset ovat opinnäytetyön kirjoittajan tekemät, joihin on tehty lisäyksiä. Kääntäjä ei ota vastuuta laskentapohjien toiminnasta. Myös laskentataulun tekijä muistuttaa alkuperäisessä englanninkielisessä ohjeessaan, että vaikka laskelmat ovat tarkastettu ja tiedosto on suojattu muokkauksia vastaan, virheiden mahdollisuuksia ei voi poissulkea.

Laskentapohja on luotu vuonna 2005 ja sahatavaran ominaislujuudet sekä jäykkyysominaisuudet ovat muuttuneet tämän jälkeen. Kaikki laskelmat pohjautuvat Eurokoodiin 5. Puurakenteiden suunnitteluun sekä saksalaisiin DIN-standardeihin, jonka vuoksi laskennassa on eroja verrattuna suomalaiseen laskentatapaan.

- 1 PYSTYSUORAAN JÄNNITYKSEEN ALTISTUNUT JÄYKISTYSSEINÄ PÄÄKUORMALLA
DIN EN 1995-1-1:2010–12
(MHM Guideline for the calculation sheets 2017, 3–11)

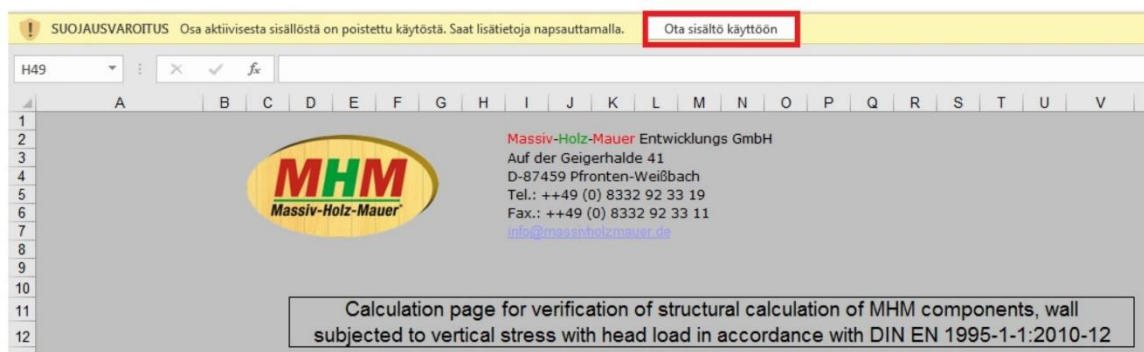
1.1 Johdanto

Laskentataulukko on tehty neljälle eri välilehdelle

- Kansi: sisältää mitoitusohjelman käyttöä koskevat säännökset
- Syötteen: syötä pyydyety tiedot rakenteellista varmistamista varten
- Varmennus: tulosten esittely ja mahdollisuus esikatseluun
- Tuloste: syötetietojen yhteenveto, varmennus ja tulokset

1.2 Toiminta

Ensimmäisenä Excel-taulukon yläreunaan tulee suojausvaroitusta. Paina "ota sisältö käyttöön" painiketta, jotta pääset tekemään muutoksia laskentataulukkoon. Kansilehti sisältää laskentaohjelmiston säännökset. Vahvista nämä ohjeet klikkaamalla "START" nappia ja siirry syötteisiin. Anna tarvittavat tiedot elementtien rakenteellisesta suunnittelusta syöttökenttiin, jotka ovat valkoisella taustalla.



Calculation page for verification of structural calculation of MHM components

Building project: Position:

Date: 7.2.2019

Component information

orientation of the outer board layers

component/wall length $l = 3000$ mm

component height $h = 3000$ mm

component thickness for verification $d = 253$ mm

actual component thickness $d = 253$ mm

number of board layers $n = 11$

number of board layers for verification $n = 11$

single board width $d_s = 23$ mm

strength class

board width b_x (vertical board layers): mm

width of leveling ground sill $b_{sill} = 100$ (mm)

board width b_y (horizontal board layers): mm

fasteners $\varnothing 8$ mm

Heco-Topis

Details of actions (entry of characteristic loads)

component service class: MKL

duration of load

modification coefficient $k_{mod} = 0,30$

line loads from upper floors

dead load $g_{u1} = 11,0$ kN/m

live load $p_{u1} = 5,0$ kN/m

$q_{u1} = 1,25 \times g_{u1} + 1,5 \times p_{u1} = 23,9$ kN/m

line loads from ceilings

dead load $g_{u2} = 11,0$ kN/m

live load $p_{u2} = 5,0$ kN/m

$q_{u2} = 1,25 \times g_{u2} + 1,5 \times p_{u2} = 23,9$ kN/m

surface load from wind

live load $w_s = 0,8$ kN/m²

$q_{s1} = 1,5 \times w_s = 1,2$ kN/m²

horizontal head load

live load $P_s = 1,0$ kN/m (wall)

$P_{s1} = 1,5 \times P_s = 1,5$ kN/m

Constructive eccentricities

eccentricity from upper floors $e_x = 0$ [mm]

eccentricity from ceilings $e_z = 0$ [mm]

Details of fasteners

nail diameter $d_n = 2,5$ mm

nail edge spacing mm

(In the calculation the edge spacing is put at 30mm)

number of nails per crossing point

charact. Load bearing capacity perpendicular to member axis [N]

slip modulus for serviceability $K_{s,ser} = 300,0$ [N/mm]

slip modulus for load bearing capacity $K_{s,Rd} = 300,0$ [N/mm]

Material parameters

characteristic strength and stiffness parameters of softwood C24

bending	$f_{t,90}$	24,0 [MN/m ²]	modulus of elasticity parallel	$E_{L,90}$	11000,0 [MN/m ²]
tension parallel	$f_{t,0}$	14,0 [MN/m ²]	modulus of elasticity 5% quantile	$E_{L,5}$	7400,0 [MN/m ²]
compression parallel	$f_{c,0}$	23,0 [MN/m ²]	shear modulus	$G_{L,90}$	630,0 [MN/m ²]
shear and torsion	$f_{v,90}$	2,0 [MN/m ²]	shear modulus 5% quantile	$G_{L,5}$	450,0 [MN/m ²]
bulk density	ρ_{15}	350,0 [kg/m ³]	roll shear modulus	$G_{R,90} = 0,10 \times G_{L,90}$	63,0 [MN/m ²]
bulk density	ρ_{12}	420,0 [kg/m ³]	$G_{R,5} = 1/2 \times G_{L,5}$		46,0 [MN/m ²]

System:

Screws for strengthening the load bearing capacity

disposition of additional screws

MHM Massiv-Holz-Mauer

Verification Output Save

Aloita antamalla rakennusprojektille nimi ja rakennusosan sijainti numeerisesti.

Calculation page for verification of structural calculation of MHM components

Building project: Position:

Date: 7.2.2019

Ensimmäisenä osiona ovat rakennesan tiedot. Aloita antamalla rakennesan korkeus ja pituus. Pituus on rajoitettu 6000 mm ja korkeus 4000 mm. Seuraavana valikoi ulommaisten lautakerrosten suunta (pysty/vaaka). Huomioithan, että vaakalinjaus voidaan toteuttaa vain erikoistalauksissa noudattaen valmistajan hyväksyntää ja neuvottelua.

Lautakerrosten määrä voidaan valita 5–15

kpl. Laudan paksuus voidaan valita 23 ± 1 mm eli 22–24 mm. Oletus on 23 mm. Rakennesan paksuus lasketaan automaattisesti lautapaksuuden ja -kerrosten mukaan. Lujuusluokaksi on vaihtoehtoina valittavissa C16 ja C24.

Lautojen leveydet on erikseen annettava pysty- ja vaakakerroksille. Jos halutaan tehdä vakituisella lautaleveydellä, leveydet voi valita vapaasti 140–260 mm. Jos lautojen leveys ei ole vakio, täytyy olettaa pahin mahdollinen tapaus ja kirjata $b_x = 260$ mm ja $b_y = 140$ mm.

board width b_x (vertical board layers): mm

board width b_y (horizontal board layers): mm

Component information

orientation of the outer board layers

component/wall length $l = 3000$ mm

component height $h = 3000$ mm

component thickness for verification $d = 253$ mm

actual component thickness $d = 253$ mm

number of board layers $n = 11$

number of board layers for verification $n = 11$

single board width $d_s = 23$ mm

strength class

Lopuksi yksityiskohdat lattian kiinnityksestä MHM-seinään täytetään. Alaohjauspuun leveys voidaan määrittää 80–120 mm.

idth of levelling ground sill fasteners \varnothing 8 mm $b_{niv} = 100$ mm Heco-Topix

Ruuvityyppi voidaan valita neljältä eri valmistajalta; lujuusominaisuudet ovat tallennettu niille. Jos valitaan tallentamaton ruuvityyppi, laskentapohjaan on valittava neljästä mahdollisesta ruuvista ruuvityyppi, jonka lujuusarvot ovat pienempiä tai enintään yhtä suuria kuin valittu ruuvityyppi.

Seuraavana ovat tiedot toiminnasta. Rakenneosan käyttöluokat sekä kuormien aikaluokat asetetaan. Hyväksynnän mukaan MHM-seinää on sallittu ainoastaan käytettävään käyttöluokissa 1 ja 2. Aikaluokkia on Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelun mukaan viisi kappaletta. Alla ne ovat lueteltu ja k_{mod} -muunnoskerroin on kirjattu käyttöluokissa 1 ja 2 sahatavarelle.

- Pysyvä kuorma, $k_{mod} = 0,6$
- Pitkäaikainen kuorma, $k_{mod} = 0,7$
- Keskipitkä kuorma, $k_{mod} = 0,8$
- Lyhytaikainen kuorma, $k_{mod} = 0,9$
- Hetkellinen kuorma, $k_{mod} = 1,1$

Kuormien aikaluokan mukaan k_{mod} -kerroin päivittyy automaattisesti, mutta hetkellisellä kuormalla kerroin on vain 1,0, kun sen pitäisi olla 1,1.

Alimmaisena on valitun puumateriaalin ominaisuuksia, jotka myös päivittyvät automaattisesti kenttiä täytettäessä.

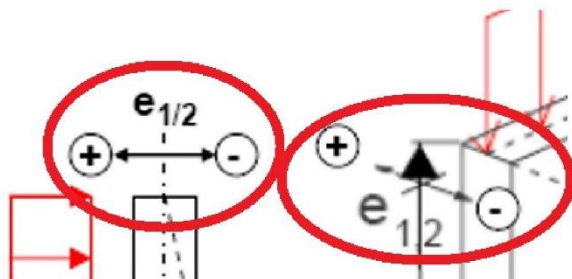
Details of actions (entry of characteristic loads)			
component service class	NKL	2	
duration of load		short	
line loads from upper floors	dead load	$g_{k1} = 11,0$ kN/m	modification coefficient $k_{mod} = 0,90$
	life load	$p_{k1} = 6,0$ kN/m	
		$q_{d1} = 1,35 \times g_{k1} + 1,5 \times p_{k1} = 23,9$ kN/m	
line loads from ceilings	dead load	$g_{k2} = 11,0$ kN/m	modification coefficient $k_{mod} = 0,90$
	life load	$p_{k2} = 6,0$ kN/m	
		$q_{d2} = 1,35 \times g_{k2} + 1,5 \times p_{k2} = 23,9$ kN/m	
surface load from wind		$w = 0,8$ kN/m ²	$w_d = 1,5 \times w_k = 1,2$ kN/m ²
horizontal head load		$P_k = 1,0$ kN/lfm (wall)	$P_d = 1,5 \times P_k = 1,5$ kN/lfm
Konstruktive eccentricities			
eccentricity from upper floors		$e_1 = 0$ [mm]	Attention: Entry of eccentricity / loads with appropriate signs !! (cf. opposite graphic, $e \rightarrow \pm$)
eccentricity from ceilings		$e_2 = 0$ [mm]	

Eri epäkeskisyydet johtuvat viivakuormituksesta sekä yläkerroksista, että katolta. Jos rakenteellisella epäkeskisyydellä on hyödyllinen vaikutus kantavuuteen, se on jätettävä huomioimatta, jotta ollaan niin sanotulla varmalla puolella suunnittelussa.

Konstruktive eccentricities	
eccentricity from upper floors	$e_1 = 0$ [mm]
eccentricity from ceilings	$e_2 = 0$ [mm]

TÄRKEÄÄ:

Huomioi epäkeskisyyden suunnat +/-, selitys kuvassa.



Viimeisenä ovat kiinnikkeiden tiedot. Tätä kohtaa käytetään määrittämään, tuotetaanko elementit oletusarvoisesti kahdella naulalla vai neljällä naulalla per risteyskohta, jotta voidaan saavuttaa parempi jäykkyys. Kun tätä käytetään, on varmistettava, että vastaavaa naulamäärää käytetään tuotannossakin.

Details of fasteners	
nail diameter d_n	2,5 mm
nail edge spacing (In the calculation the edge spacing is put at 30mm)	30,0 mm
number of nails per crossing point	<input type="text" value="2"/>
charact. Load bearing capacity perpendicular to member axis	400,0 [N]
slip modulus for serviceability K_{ser} :	300,0 [N/mm]
slip modulus for load bearing capacity $K_{u,mean}$:	300,0 [N/mm]

Lisää liitosruuvien upotusreikiä voidaan järjestää, jos vaaditaan lisäkantavuutta.

Screws for strengthening the load bearing capacity

disposition of additional screws

Jos lisäruevikysmyykseen vastataan "kyllä", peitetyt syötteet tulevat esille, johon määritellään kiinnikkeet. Tässä ruuvien minimihalkaisija on 8 mm ja ruuvien määrä neliömetrille pitää antaa. Ruuvien pituus määritetään automaattisesti rakennesosan paksuudesta riippuen. Kuten naulojen kanssa, pitää varmistaa, että toteutus tehdään suunnitelmien mukaisesti.

Screws for strengthening the load bearing capacity	
disposition of additional screws	<input type="text" value="yes"/>
diameter of screws $d =$	<input type="text" value="8 [mm]"/>
length of screws $l >$	<input type="text" value="253 [mm]"/>
number of screws per sq.m	<input type="text" value="20 [pieces]"/>
slip modulus K_{ser} :	2994 [N/mm]
Slip modulus $K_{u,mean}$:	1996 [N/mm]

Valitun sahatavaran (C16 tai C24) ominaisarvot ovat välilehden alareunassa.

Material parameters					
characteristic strength and stiffness parameters of softwood C24					
bending	$f_{m,k}$	24,0 [MN/m ²]	modulus of elasticity parallel	$E_{0,mean}$	11000,0 [MN/m ²]
tension parallel	$f_{t,0,k}$	14,0 [MN/m ²]	modulus of elasticity 5% quantile	$E_{0,05}$	7400,0 [MN/m ²]
compression parallel	$f_{c,0,k}$	21,0 [MN/m ²]	shear modulus	G_{mean}	690,0 [MN/m ²]
shear and torsion	$k_{cr} \cdot f_{v,k}$	2,0 [MN/m ²]	shear modulus 5% quantile	$G_{05} = \frac{2}{3} \times G_{mean}$	460,0 [MN/m ²]
bulk density	ρ_k	350,0 [kg/m ³]	roll shear modulus	$G_{R,mean} = 0,10 \times G_{mean}$	69,0 [MN/m ²]
bulk density	ρ_m	420,0 [kg/m ³]		$G_{R,05} = \frac{2}{3} \times G_{R,mean}$	46,0 [MN/m ²]

Nyt syöteosio on valmis ja voidaan siirtyä mitoittamiseen klikkaamalla "Verification" kohtaa.

Käyttäjää viedään automaattisesti "Verification" välilehdelle.

TÄRKEÄÄ:

Valitun sahatavaran ominaisarvoissa on vuosien aikana tapahtunut muutoksia. Puun lujuusluokat esitetään standardissa EN 388. Laskentapohjassa näitä muutoksia olivat veto- sekä leikkauslujuudessa. Nykyisen EN 388 standardin mukaiset veto- ja leikkauslujuuden arvot:

- $f_{t,0,k} = 14,5 \text{ N/mm}^2$ (C24) ja $8,5 \text{ N/mm}^2$ (C16)
- $f_{v,k} = 4 \text{ N/mm}^2$ (C24) ja $3,2 \text{ N/mm}^2$ (C16)

Laskentataulukosta ei myöskään ilmene, mikä on materiaalin jäykkyys- ja kestävyysominaisuuksien osavarmuusluku γ_M . Eurokoodi 5 mukaan γ_M on 1,3 sahatavaralle.

Laskentataulukossa on käytetty leikkaukselle ja kiertymiselle kaavaa $k_{cr} * f_{v,k} = 2 \text{ MN/m}^2$ (C16 ja C24), jossa k_{cr} on leikkauskestävyyden halkeilukerroin. EC5 mukaan kertoimen k_{cr} suositusarvo on:

- $k_{cr} = 0,67$ kun sauva on sahatavaraa
- $k_{cr} = 0,67$ kun sauva on liimapuuta

- $k_{cr} = 1,0$ kun sauva on muuta standardin EN 13986 tai EN 14374 mukaista puutuotetta.

Kansallista valintaa koskevaa tietoa voidaan esittää kansallisessa liitteessä.

Myös kuormitusyhdistelmissä on eroja saksalaisen laskentataulukon ja Suomen laskentatavan välillä. Alla on kuva laskentataulukon kuormitusyhdistelystä. Yhdistelykaavoissa ei ole huomioitu kuormakerrointa K_{FI} . Kuormakertoimen K_{FI} arvo määräytyy seuraamusluokan CC1, CC2 tai CC3 mukaan, jolloin K_{FI} on 0,9, 1,0 tai 1,1.

		2	
		short	
dead load	$g_{k1} =$	12,0 kN/m	→ modification coefficient $k_{mod} = 0,90$ $q_{d1} = 1,35 \times g_{k1} + 1,5 \times p_{k1} = 25,2 \text{ kN/m}$ $q_{d2} = 1,35 \times g_{k2} + 1,5 \times p_{k2} = 23,9 \text{ kN/m}$ $w_d = 1,5 \times w_k = 1,2 \text{ kN/m}^2$ $P_d = 1,5 \times P_k = 1,5 \text{ kN/lfm}$
live load	$p_{k1} =$	6,0 kN/m	
dead load	$g_{k2} =$	11,0 kN/m	
live load	$p_{k2} =$	6,0 kN/m	
	$w =$	0,8 kN/m ²	
	$P_k =$	1,0 kN/lfm (wall)	

Normaalisti vallitsevassa mitoitustilanteessa mitoituskuorma saadaan seuraavista yhtälöistä (STR):

- $1,15 K_{FI} G_{kj} + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} + 1,5 K_{FI} \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$ (EN 1990 6.10b)
- $1,35 K_{FI} G_{kj}$ (EN 1990 6.10a)

jossa

G_{kj} = pysyvä kuorma

$Q_{k,1}$ = määräävä muuttuva kuorma

$Q_{k,i}$ = muut samanaikaiset muuttuvat kuormat

$\psi_{0,i}$ = muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

Yllä olevista kaaavoista käyttöön tulee se, joka antaa määräävän vaikutuksen. Jos pysyvistä kuormasta on hyötyä, käytetään osavarmuuskertoimena pysyvälle kuormalle 0,9. Käytännössä kaava 6.10a on hyvin harvoin määräävä. EN 1990 mukaan on myös kaava 6.10 ja valinta kaavojen 6.10, 6.10a ja 6.10b välillä esitetään kansallisessa liitteessä. Mikäli kansallisessa liitteessä valitaan kaavat 6.10a sekä 6.10b, niin kaavasta 6.10a voidaan poiketa siten, että siihen sisältyvät pelkästään pysyvät kuormat, kuten yllä olevassa kaavassa on tehty Suomessa.

- $1,35 G_{kj} + 1,5 Q_{k,1} + 1,5 \psi_{0,i} Q_{k,i}$ (EN 1990 6.10)

”Verification” välilehti tekee yhteenvedon laskelmista. Ohjelma suorittaa varmuuden murtorajatilassa sekä käyttörajatilassa. Tulokset on esitetty käyttöasteina prosentteina ja se ilmoittaa punaisella, jos jossakin on jotain vikaa.

”O.K.” tarkoittaa hyväksyttyä käyttöastetta

”Attention” merkitsee liiallista kuormitusta

in plane		
occupancy rate	96%	O.K.
occupancy rate	106%	Attention!

Käyttöasteiden ylittäessä 100 %, voi palata takaisin syötteisiin ja vaihtaa tietoja.

Kahden sivun raportin voi esikatsella tai tulostaa suoraan. Laskelman voi myös tallentaa.

Tarkat laskelmat voit tarkastaa ”Berechnung Wand” ja ”Berechnung Kopflast” välilehdeltä.

2 TAIVUTUSJÄNNITYKSELLE ALTISTUNEET AUKKOPALKKIELEMENTIT DIN EN 1995-1-1:2010-12 (MHM Guideline for the calculation sheets 2017, 12–18)

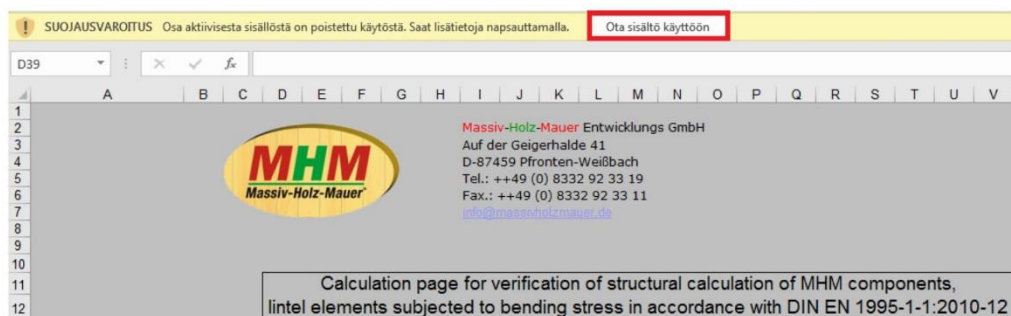
2.1 Johdanto

Laskentataulukko on tehty neljälle eri välilehdelle

- Kansi: sisältää mitoitusohjelman käyttöä koskevat säännökset
- Syötteen: syötä pyydytety tiedot rakenteellista varmistamista varten
- Varmennus: tulosten esittely ja mahdollisuus esikatseluun
- Tuloste: syötetietojen yhteenveto, varmennus ja tulokset

2.2 Toiminta

Ensimmäisenä Excel-taulukon yläreunaan tulee suojausvaroitusta. Paina "ota sisältö käyttöön" painiketta, jotta pääset tekemään muutoksia laskentataulukkoon. Kansilehti sisältää laskentaohjelmiston säännökset. Vahvista nämä ohjeet klikkaamalla "START" nappia ja siirry syötteisiin.



Anna tarvittavat tiedot elementtien rakenteellisesta suunnittelusta syöttökenttiin, jotka ovat valkoisella taustalla.

Calculation page for verification of structural calculation of MHM components

Building project: Position:

Date:

Component information

supporting width $l = 2000$ mm
 component height $h = 450$ mm
 component thickness $d = 253$ mm

board width b_x (vertical board layers): mm
 board width b_y (horizontal board layers): mm

Details of fasteners

nail diameter $d_n = 2.5$ mm
 nail edge spacing $a_e = 7.0$ mm $-d_n = 17.5$ mm
 (In the calculation the edge spacing is put at 30mm)
 number of nails per crossing point $n = 2$
 charact. Load bearing capacity perpendicular to member axis $F_{k,perp} = 400.0$ [N]
 slip modulus for serviceability $K_{ser} = 300.0$ [N/mm]

Details of actions

component service class: NKL short
 duration of load: short
 line loads: dead loads $g_k = 10.0$ kN/m, life loads $p_k = 10.0$ kN/m
 modification coefficient $k_{mod} = 0.9$
 $q_k = 1.35 \times g_k + 1.5 \times p_k = 28.5$ kN/m

Material parameters

characteristic strength and stiffness parameters of softwood C24

bending	$f_{m,k}$	24.0 [MN/m ²]	modulus of elasticity parallel	$E_{0,par}$	11000.0 [MN/m ²]
tensile parallel	$f_{t,0,k}$	14.0 [MN/m ²]	modulus of elasticity 5% quantile	$E_{0,5}$	7400.0 [MN/m ²]
compression parallel	$f_{c,0,k}$	21.0 [MN/m ²]	shear modulus	G_{par}	690.0 [MN/m ²]
compression perpendicular	$f_{c,90,k}$	2.5 [MN/m ²]	shear modulus 5% quantile	$G_{5,par} = 2/3 \times G_{par}$	460.0 [MN/m ²]
shear and torsion	$f_{v,k}$	2.0 [MN/m ²]	roll shear modulus	$G_{R,par} = 0.10 \times G_{par}$	69.0 [MN/m ²]
bulk density	ρ_k	350.0 [kg/m ³]		$G_{R,5} = 2/3 \times G_{R,par}$	46.0 [MN/m ²]

System:

Verification Output Save

Aloita antamalla rakennusprojektille nimi ja rakennusosan sijainti numeerisesti.

Calculation page for verification of structural calculation of MHM components

Building project: Testi Position: 1
Date: 7.2.2019

Ensimmäisenä osiona ovat rakenneosan tiedot. Aloita antamalla aukon yläpuolisen palkin korkeus ja pituus. Jänneväli on rajoitettu 6000 mm ja korkeus 3200 mm. Lisäksi aukonylityspalkeille vaakasossa kantavien lautakerrosten lukumäärä tulisi rajoittaa maksimissaan viiteen päällekkäin olevaan lautakerrokseen.

Component information

supporting width $l = 2000$ mm
component height $h = 450$ mm
component thickness $d = 253$ mm

Seuraavana valikoi ulommaisten lautakerrosten suunta

(pysty/vaaka). Aukon yläpuolisen palkin laudan vaakasuora kohdistaminen valitaan vain, jos ylityspalkki tuotetaan yksittäisenä rakenneosana.

Tässä yhteydessä käyttäjän on neuvoteltava valmistajan kanssa. Lautakerrosten määrä voidaan valita 5–15 välistä. Laudan paksuus voidaan valita 23 ± 1 mm eli 22–24 mm. Oletus on 23 mm. Rakenneosan paksuus lasketaan automaattisesti lautapaksuuden ja -kerrosten mukaan. Lujuusluokaksi on vaihtoehtoina valittavissa C16 ja C24.

top layer horiz=0/vert=1 1
number of board layers $n = 11$
single board width $d_e = 23$ mm
strength class C24

Lopuksi laudan leveys asetetaan. Jos halutaan tehdä vakituksella lautaleveydellä, leveydet voi valita vapaasti 140–260 mm. Jos lautojen leveys ei ole vakio, täytyy olettaa pahin mahdollinen tapaus ja kirjata $b_x = 260$ mm ja $b_y = 140$ mm.

board width b_x (vertical board layers): 260 mm
board width b_y (horizontal board layers): 140 mm

Toisena ovat kiinnikkeiden tiedot. Tätä kohtaa käytetään määrittämään, tuote- taanko elementit oletusarvoisesti kahdella naulalla vai neljällä naulalla per risteys-

Details of fasteners

nail diameter d_n 2,5 mm
nail edge spacing $\geq 7,0 \cdot d_n$ 17,5
(In the calculation the edge spacing is put at 30mm)
number of nails per crossing point 2
charact. Load bearing capacity perpendicular to member axis 400,0 [N]
slip modulus for serviceability K_{ser} : 300,0 [N/mm]

kohta, jotta voidaan saavuttaa parempi jäykkyys. Jos tämä toimi valitaan, on välttämätöntä neuvotella valmistajan kanssa.

Kolmantena ovat tiedot toiminnasta. Rakenneosan käyttöluokat sekä kuormien aikaluokat asetetaan. Hyväksynnän mukaan MHM-seinää on sallittu ainoastaan käytettävän käyttöluokissa 1 ja 2. Kuormien aikaluokan mukaan k_{mod} -kerroin päivittyy automaattisesti. Aikaluokkia on valittavissa neljä kappaletta: pysyvä, pitkäaikainen, keskipitkä ja lyhytaikainen. Alimmaisena on valitun puumateriaalin ominaisuuksia, jotka myös päivittyvät automaattisesti kenttiä täytettäessä. Kuormitusyhdistely on myöskin erilainen kuin Suomessa sekä sahatavaran veto- ja leikkauslujuudessa on virheitä. Katso tämän liitteen kohta 1.2.

Details of actions

component service class NKL
duration of load 1 short
line loads dead loads $g_k = 10,0$ kN/m
life loads $p_k = 10,0$ kN/m
modification coefficient $k_{mod} = 0,9$
 $q_d = 1,35 \times g_k + 1,5 \times p_k = 28,5$ kN/m

Valitun puumateriaalin (C16 tai C24) ominaisuusarvot ovat välilehden alareunassa.

Material parameters

characteristic strength and stiffness parameters of softwood C24

bending	$f_{m,k}$	24,0 [MN/m ²]	modulus of elasticity parallel	$E_{0,mean}$	11000,0 [MN/m ²]
tensile parallel	$f_{t,0,k}$	14,0 [MN/m ²]	modulus of elasticity 5% quantile	$E_{0,05}$	7400,0 [MN/m ²]
compression parallel	$f_{c,0,k}$	21,0 [MN/m ²]	shear modulus	G_{mean}	690,0 [MN/m ²]
compression perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,5 [MN/m ²]	shear modulus 5% quantile	$G_{05} = \frac{2}{3} \times G_{mean}$	460,0 [MN/m ²]
shear and torsion	$f_{v,k}$	2,0 [MN/m ²]	roll shear modulus	$G_{R,mean} = 0,10 \times G_{mean}$	69,0 [MN/m ²]
bulk density	ρ_k	350,0 [kg/m ³]		$G_{R,05} = \frac{2}{3} \times G_{R,mean}$	46,0 [MN/m ²]

Nyt syöteosio on valmis ja voidaan siirtyä mitoittamiseen klikkaamalla "Verification" kohtaa. Käyttäjä viedään automaattisesti "Verification" välilehdelle.

Verification

Verifications of ultimate limit state (ULS):

verification of bending, normal and shear stress at the component

$\left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \Rightarrow$	0,00172 + 0,6158 = 0,6175	occupancy rate	62 %	O.K.
$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \Rightarrow$	0,0622 + 0,6158 = 0,678	occupancy rate	68 %	O.K.
$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \Rightarrow$	0,5201	occupancy rate	52 %	O.K.

verification of the fasteners

$$N_d = \frac{M_p}{\sqrt{e_{t,FB}^2 + e_{s,FB}^2} \cdot \gamma_{FB,KN,pu}} = 14 \text{ N} < R_d = \frac{k_{med} \cdot R_k}{\gamma_M} = 277 \text{ N} \quad \text{occupancy rate} \quad 5 \% \quad \text{O.K.}$$


necessary bearing surface

$$l \geq \frac{F_{t,90,d}}{k_{t,90,d} \cdot f_{t,90,d} \cdot d} - 3 \text{ cm} = 3,5 \text{ cm}$$

Verifications of serviceability limit state (SLS):

verification of deformation

$$w^t = \frac{5 \cdot q_k \cdot l^4}{384 \cdot e f EI} = 3,89 \text{ mm} < \frac{l}{300} = 6,67 \text{ mm} \quad \text{occupancy rate} \quad 58 \% \quad \text{O.K.}$$



Tämä välilehti tekee yhteenveton laskelmista. Ohjelma suorittaa varmuksen murtorajatilassa sekä käyttörajatilassa. Tulokset on esitetty käyttöasteina prosentteina ja se ilmoittaa punaisella, jos jossakin on jotain vikaa.

"O.K." tarkoittaa hyväksyttyä käyttöastetta

"Attention" merkitsee liiallista kuormitusta

Käyttöasteiden ylittäessä 100 %, voi palata takaisin syötteisiin ja vaihtaa tietoja.

Kahden sivun raportin voi esikatsella tai tulostaa suoraan. Laskelman voi myös tallentaa.

Tarkat laskelmat voit tarkastaa "Berechnung" välilehdeltä.

occupancy rate	115%	Attention!
occupancy rate	89%	O.K.

3 PYSTYSUORAAN JÄNNITYKSEEN ALTISTUNUT JÄYKISTYSSEINÄ PÄÄKUORMALLA PALOTILANTEESSA
DIN EN 1995-1-1:2010-12
(MHM Guideline for the calculation sheets 2017, 19-23)

Laskentataulukolla MHM-jäykisteseinäelementeille tulipalotilanteessa on samankaltainen pohja kuin laskentataulukossa ilman palokuormaa. Eroavaisuudet ja lisäykset selitetään tässä osiossa.

Laskentataulukko on tehty neljälle eri välilehdelle

- Kansi: sisältää mitoitusohjelman käyttöä koskevat säännökset
- Syötet: syötä pyydytyt tiedot rakenteellista varmistamista varten palotilanteessa
- Varmennus: tulosten esittely ja mahdollisuus esikatseluun
- Tuloste: syötetietojen yhteenveto, varmennus ja tulokset

3.1 Toiminta

Ensimmäisenä Excel-taulukon yläreunaan tulee suojausvaroitusta. Paina "ota sisältö käyttöön" painiketta, jotta pääset tekemään muutoksia laskentataulukkoon. Kansilehti sisältää laskentaohjelmiston säännökset. Vahvista nämä ohjeet klikkaamalla "START" nappia ja siirry syötteisiin.



Palokuorman sisältävä laskentataulukko tarvitsee lisäsyötteitä verrattuna laskentataulukkoon, jossa palokuormaa ei ole. Lisäsyötet ovat merkitty alla olevaan kuvaan punaisella kehysellä.

Building Project: _____ Position: _____
Date: 12.2.2019

Component information

orientation of the outer board layers	vertical	number of board layers	$n = 7$
component wall length	$l = 1000$ mm	number of board layers for verification	$n_v = 5$
component height	$h = 5000$ mm	single board width	$d_s = 23$ mm
component thickness for verification	$d = 180,0$ mm	strength class	C24
actual component thickness	$d = 181$ mm	required fire resistance time	30 min
mass burning rate	$\rho_s = 1,15$ mm/min	type of fire load	single sided
max. for initially closed components	$\rho_{s,0} = 1,15$ mm/min	thickness outer single layer plasterboard type F	0 mm (optional)
board width b_0 (vertical board layers)	280 mm	thickness inner layer plasterboard type F	0 mm (optional)
board width b_1 (horizontal board layers)	40 mm	effective cladding thickness h_{cl}	0,0 mm
corrective factor for massive timber	$k_{cl} = 1,25$	begin of burnoff after t_{cl}	0 mm
corrective factor for fasteners	$k_{cl} = 1,15$	burnoff depth d_{cl}	24,5 mm
		No. of board layers falling by fire - per side n_{cl}	2
		calculated total No. of board layers falling by fire $n_{cl,tot}$	2
		The burn-off front is located in board layer No.	2

Details of actions (entry of characteristic loads)

component service class NIKL	2	modification coefficient	$k_{mod} = 1,00$
Reduction factor for actions in case of fire load η_{fi}	0,5	$\gamma_{M,fi} = 1,00$	
combination coefficient for wind load	$\psi_{1,w} = 0,2$		
standing	$q_{1,w} = 0,0$ kN/m	$q_{1,w} = (1,35 \cdot q_{1,w} + 1,5 \cdot s_{p,w}) \cdot \eta_{fi}$	17,1 kN/m
line loads from upper floors	Nutz/Verkehr $p_{1,w} = 0,0$ kN/m	$q_{2,w} = (1,35 \cdot p_{1,w} + 1,5 \cdot s_{p,w}) \cdot \eta_{fi}$	17,1 kN/m
standing	$q_{2,w} = 0,0$ kN/m	$q_{2,w} = (1,35 \cdot p_{2,w} + 1,5 \cdot s_{p,w}) \cdot \eta_{fi}$	0,1 kN/m
line loads from ceilings	Nutz/Verkehr $p_{2,w} = 0,0$ kN/m	$p_{2,w} = 1,0 \cdot p_{2,w} + P_{2,w}$	1,0 kN/m
surface load from wind	$s_{p,w} = 0,5$ kN/m ²		
horizontal head load	$P_{2,w} = 1,0$ kN/m (Vand)		

Constructive eccentricities

eccentricity from upper floors (in regard of burn-off)	$e_x = 0$ [mm]
eccentricity from ceilings (in regard of burn-off)	$e_y = 30$ [mm]

Attention: Entry of eccentricities / loads with appropriate sign !! (of opposite graphic, $e = -x$)

Details of fasteners

nail diameter d_n	2,5 mm
nail edge spacing	30,0 mm
(in the calculation the edge spacing is put at 30mm)	
number of nails per crossing point	2
charact. Load bearing capacity perpendicular to member axis	400,0 [N]
slip modulus for serviceability $K_{s,ser}$	300,0 [N/mm]
slip modulus for load bearing capacity $K_{s,Rd}$	300,0 [N/mm]

Screws for strengthening the load bearing capacity

disposition of additional screws: no

Material parameters

characteristic strength and stiffness parameters of softwood 0		modulus of elasticity parallel	$E_{x,0,05}$	10000,0 [N/mm ²]
bending	$f_{t,0,05}$	modulus of elasticity 5% quantile	$E_{x,0,05}$	7400,0 [N/mm ²]
tension parallel	$f_{t,0,05}$	shear modulus	$G_{x,0,05}$	630,0 [N/mm ²]
compression parallel	$f_{c,0,05}$	shear modulus 5% quantile	$G_{x,0,05} = 1/3 \cdot G_{x,0,05}$	460,0 [N/mm ²]
shear and torsion	$k_{t,0,05}$	roll shear modulus	$G_{x,0,05} + 0,10 \cdot G_{x,0,05}$	68,0 [N/mm ²]
bulk density	ρ_k	roll shear modulus	$G_{x,0,05} + 1/3 \cdot G_{x,0,05}$	46,0 [N/mm ²]
bulk density	ρ_k			

Verification Output Save

Start Input Berechnung Wand Berechnung Kopfplast Verification Output

Periaatteessa MHM-rakenne on mitoitettava ja rakennettava siten, että se säilyttää kantokykynsä palotilanteessa.

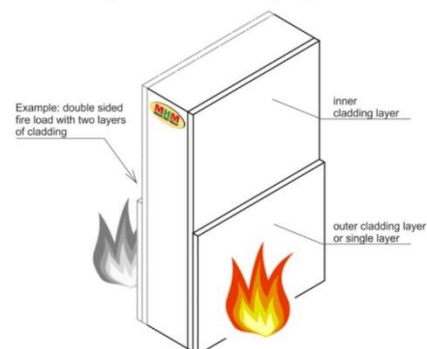
required fire resistance time	30 min
type of fire load	single sided
thickness outer/single layer plasterboard type F	0 mm (optional)
thickness inner layer plasterboard type F	0 mm (optional)

Vaadittu palonkestoaika (30, 60 tai 90 minuuttia) valitaan pudotusvalikosta.

Riippuen vaaditusta palokuormasta, laskentataulukko voi laskea siten, että seinärakenne on alttiina palolle yhdestä tai kahdesta suunnasta.

Seinäverhoukseen on myös mahdollista sisällyttää yksi tai kaksi lisäkerrosta per seinän puoli. Tyyppin F kipsilevyn materiaaliparametreja käytetään verhoukserosten laskentataulukossa. Lisäverhoukserrokset (sisempi ja ulompi) viittaavat aina seinän toiseen puoleen. Tilanteessa, jossa rakenne on alttiina palolle molemmista suunnista, vastakkaisen puolen verhoukserrokset asetetaan päinvastaisessa järjestyksessä. Ota huomioon laskentataulukon graafinen kuva ja seuraavat esimerkit.

Arrangement of cladding layers

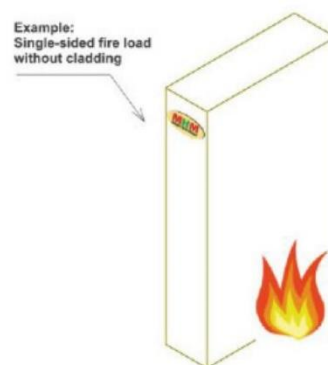


Yhdestä suunnasta altis palolle, ei verhousta:

Tapauksessa, jossa rakenne on yhdestä suunnasta altis palolle ja siihen ei kuulu verhousta, palokuorman tyyppiin valitaan "single-sided". Molempien verhouksien kohdalle paksuuteen laitetaan 0 mm.

type of fire load	single sided
thickness outer/single layer plasterboard type F	0 mm (optional)
thickness inner layer plasterboard type F	0 mm (optional)

Arrangement of cladding layers

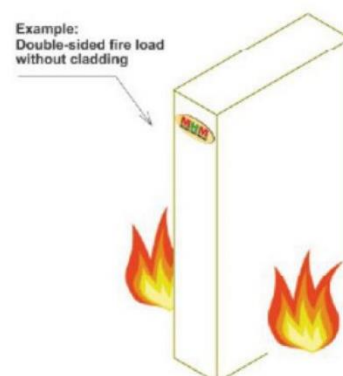


Kahdesta suunnasta altis palolle, ei verhousta:

Tapauksessa, jossa rakenne on kahdesta suunnasta altis palolle ja siihen ei kuulu verhousta, palokuorman tyyppiin valitaan "double-sided". Molempien verhouksien kohdalle paksuuteen laitetaan 0 mm.

type of fire load	double sided
thickness outer/single layer plasterboard type F	0 mm (optional)
thickness inner layer plasterboard type F	0 mm (optional)

Arrangement of cladding layers



Yhdestä suunnasta altis palolle, yksi verhouskerros:

Tapauksessa, jossa rakenne on yhdestä suunnasta altis palolle ja siihen kuuluu yksi verhouskerros, palokuorman tyyppiin valitaan "single-sided". Verhouksen paksuus kirjataan "outer layer" kohtaan. Paksuus "inner layer" kohdassa annetaan olla 0 mm.

type of fire load	single sided
thickness outer/single layer plasterboard type F	15 mm (optional)
thickness inner layer plasterboard type F	0 mm (optional)

Kahdesta suunnasta altis palolle, yksi verhouskerros molemmin puolin seinää:

Tapauksessa, jossa rakenne on kahdesta suunnasta altis palolle ja siihen kuuluu yksi verhouskerros, palokuorman tyyppiin valitaan "double-sided". Verhouksen paksuus kirjataan "outer layer" kohtaan. Paksuus "inner layer" kohdassa annetaan olla 0 mm. Verhouskerros asetetaan seinän molemmille puolille ja se täytyy kirjata vain kerran.

type of fire load	double sided
thickness outer/single layer plasterboard type F	15 mm (optional)
thickness inner layer plasterboard type F	0 mm (optional)

Yhdestä suunnasta altis palolle, kaksi verhouskerrosta:

Tapauksessa, jossa rakenne on yhdestä suunnasta altis palolle ja siihen kuuluu kaksi verhouskerrosta, palokuorman tyyppiin valitaan "single-sided". Uloimman kerroksen paksuus kirjataan kohtaan "outer layer" ja sisemmän kerroksen paksuus kohtaan "inner layer".

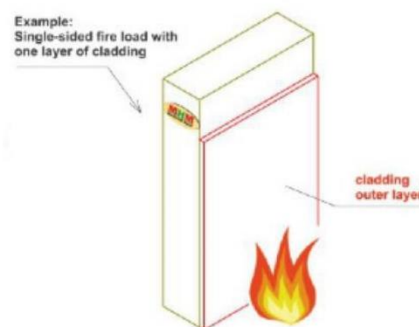
type of fire load	single sided
thickness outer/single layer plasterboard type F	15 mm (optional)
thickness inner layer plasterboard type F	15 mm (optional)

Kahdesta suunnasta altis palolle, kaksi verhouskerrosta molemmin puolin seinää:

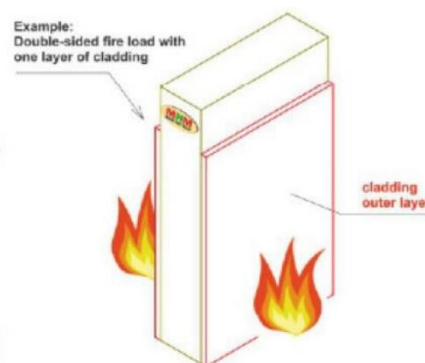
Tapauksessa, jossa rakenne on kahdesta suunnasta altis palolle ja siihen kuuluu kaksi verhouskerrosta, palokuorman tyyppiin valitaan "double-sided". Uloimman kerroksen paksuus kirjataan kohtaan "outer layer" ja sisemmän kerroksen paksuus kohtaan "inner layer". Molemmat kerrokset lisätään seinän molemmille puolille ja ne kirjataan vain kerran.

type of fire load	double sided
thickness outer/single layer plasterboard type F	15 mm (optional)
thickness inner layer plasterboard type F	15 mm (optional)

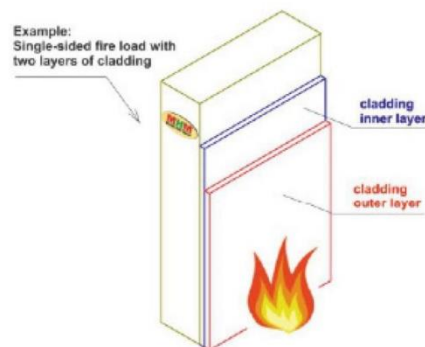
Arrangement of cladding layers



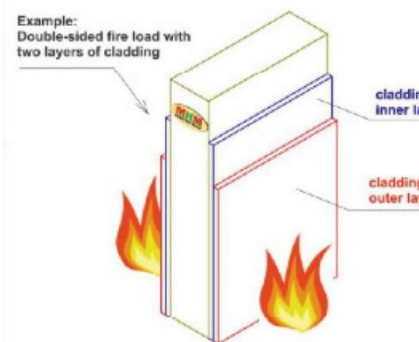
Arrangement of cladding layers



Arrangement of cladding layers



Arrangement of cladding layers



Ensimmäisenä osiona ovat rakenneosan tiedot. Se täytetään yllä olevien ohjeiden mukaisesti. Osio kuitenkin sisältää myös arvoja, joita ei voi itse muuttaa ja ne päivittyvät automaattisesti syötteitä täytettäessä. Tässä on kerrottu laskentataulukon merkinnöistä. Lähteenä on käytetty RIL 205-2-2009 sekä EN 1995-1-2.

β_n	Nimellisen hiiltymisnopeuden mitoitussarvo, johon sisältyy halkeamien sekä kulmapyöritysten vaikutus. ETA:n raportin mukaan MHM-puuelementin arvo on 1,15 mm/min.
β_n	Hiiltymisnopeus ennen palosuojausten murtumista, joka saadaan kertomalla nimellisen hiiltymisnopeuden mitoitussarvo β_n kertoimella k_2 . Kun puinen rakenneosa on suojattuna yhdellä F-tyyppin kipsilevyllä, $k_2 = 1 - 0,018 h_p$. Kun verhouksena on useita F-tyyppin kipsilevyjä, paksuutena h_p käytetään sisimmän kipsilevyn paksuutta (EN 1995-1-2).
k_{fi}	Kertoimen k_{fi} arvo on sahatavaralle 1,25 ja leikkausliittimien avulla muodostetussa liitoksessa, jossa sivukappaleet ovat puuta tai puulevyä 1,15.
h_p	Levyn paksuus ohuimmalta kohdaltaan (esimerkiksi saumakohta).
t_{ch}	Hiiltymisen alkamishetki, yksikkönä minuutti. Kun palosuojausta ei ole tämä saa arvon 0. Kun verhouksena standardin EN 520 mukainen A-, F- tai H- tyyppin kipsilevy, käytetään kaavaa $t_{ch} = 2,8 h_p - 14$
$d_{char,n}$	Nimellisen hiiltymissyvyyden mitoitussarvo, johon sisältyy kulmapyöritysten vaikutus. Lasketaan kaavasta $d_{char,n} = \beta_n t$, kun kyseessä palosuojaamaton pinta. Kun rakenne on palosuojattu $d_{char,n} = \beta_n (t - t_{ch})$, jossa t on palorasituksen kesto (30, 60 tai 90 min).

Component information	
orientation of the outer board layers	vertical
component/wall length	$l = 1000$ mm
component height	$h = 3000$ mm
component thickness for verification	$d = 115,0$ mm
actual component thickness	$d = 161$ mm
mass burning rate	$\beta_n = 1,15$ mm/min
m.b.r. for initially closed compon	$\beta_n = 1,15$ mm/min
board width b_x (vertical board layers):	260 mm
board width b_y (horizontal board layers):	140 mm
corrective factor for massive timber	$k_{fi} = 1,25$
corrective factor for fasteners	$k_{fi} = 1,15$
number of board layers	$n = 7$
number of board layers for verification	$n = 5$
single board width	$d_e = 23$ mm
strength class	C24
required fire resistance time	30 min
type of fire load	single sided
thickness outer/single layer plasterboard type F	0 mm (optional)
thickness inner layer plasterboard type F	0 mm (optional)
effective cladding thickness h_p	0,0 mm
begin of burnoff after t_{ch}	0 min
burnoff depth $d_{char,n}$	34,5 mm
No. of board layers failing by fire - per side - n_{fail}	2
calculated total No. of board layers failing by fire $n_{fail,tot}$	2
The burn-off front is located in board layer No:	2

Seuraavana ovat tiedot toiminnasta. Rakenneosan käyttöluokat sekä kuormien aikaluokat asetetaan. Hyväksynnän mukaan MHM-seinää on sallittu ainoastaan käytettävään käyttöluokissa 1 ja 2.

η_{fi}	Kuorman mitoitussarvon pienennyskerroin palotilanteessa. Yksinkertaistuksena voidaan käyttää suositussarvoa 0,6, paitsi standardin EN 1991-1-1:2002 luokan E hyötykuormille (varastotilat), jolle suositussarvo on 0,7.
$\psi_{1,i}$	Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin tuulikuormalle 0,2
$k_{mod,fi}$	Palotilanteeseen liittyvä muunnoskerroin, arvo annetaan mitoitusmenetelmän yhteydessä ja on yleensä 1,0.
$\gamma_{M,fi}$	= $\gamma_{M,fi}$, joka on puun osavarmuusluku palotilanteessa. Suomessa materiaaliominaisuuksien osavarmuusluku $\gamma_{M,fi}$ on 1,0 palotilanteessa.

Yksinkertaistuksena palotilanteen kuormien aiheuttama voimasuure $E_{d,fi}$ voidaan määrittää normaalilämpötilatarkastelun perusteella kaavalla:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d$$

jossa:

E_d on normaalilämpötilamitoituksesta kuormien perusyhdistelmän perusteella saatu voimasuureen mitoitussarvo.

Details of actions (entry of characteristic loads)					
component service class	NKL		2		
Reduction factor for actions in case of fire load	η_{fi}	=	0,6	⇒	modification coefficient $k_{mod,fi} = 1,00$
combination coefficient for wind load	$\psi_{1,i}$	=	0,2		$\gamma_{mod,fi} = 1,00$
line loads from upper floors	ständig	g_{k1}	= 10,0 kN/m		
	Nutz/Verkehr	p_{k1}	= 10,0 kN/m	$q_{d1} = (1,35 \times g_{k1} + 1,5 \times p_{k1}) \times \eta_{fi}$	= 17,1 kN/m
line loads from ceilings	ständig	g_{k2}	= 10,0 kN/m		
	Nutz/Verkehr	p_{k2}	= 10,0 kN/m	$q_{d2} = (1,35 \times g_{k2} + 1,5 \times p_{k2}) \times \eta_{fi}$	= 17,1 kN/m
surface load from wind		w_k	= 0,5 kN/m ²	$w_d = 1,0 \times \psi_{1,i} \times w_k$	= 0,1 kN/m ²
horizontal head load		P_k	= 1,0 kN/lfm (Wand)	$P_d = 1,0 \times P_k$	= 1,0 kN/lfm

Epäkeskisyydet ovat osoitettu samalla tavalla kuin mitoituksessa ilman palokuormaa, katso kohta 1.2.

Constructive eccentricities	
eccentricity from upper floors (in regard of burn-off)	$e_1 = 0$ [mm]
eccentricity from ceilings (in regard of burn-off)	$e_2 = 30$ [mm]

Alla näkyy valitun sahatavaran ominaisuuksia, joissa taas veto- ja leikkauslujuuksissa on virheitä, mutta 20 % fraktiilit on otettu huomioon. Materiaaliominaisuuksissa ei myöskään lue arvoa S_{20} , joka on jäykkyysominaisuuden (kimmokertoimen tai liukukertoimen) 20 % fraktiili normaalilämpötilassa.

Material parameters			modulus of elasticity parallel		
characteristic strength and stiffness parameters of softwood 0			$E_{0,mean}$	11000,0 [MN/m ²]	
bending	$f_{m,20}$	30,0 [MN/m ²]	modulus of elasticity 5% quantil $E_{0,05}$	7400,0 [MN/m ²]	
tension parallel	$f_{t,0,20}$	17,5 [MN/m ²]	shear modulus	G_{mean}	690,0 [MN/m ²]
compression parallel	$f_{c,0,20}$	26,3 [MN/m ²]	shear modulus 5% quantile	$G_{05} = \sqrt[2]{3} \times G_{mean}$	460,0 [MN/m ²]
shear and torsion	$k_{ct} \cdot f_{v,20}$	2,5 [MN/m ²]	roll shear modulus	$G_{R,mean} = 0,10 \times G_{mean}$	69,0 [MN/m ²]
bulk density	ρ_k	350,0 [kg/m ³]		$G_{R,05} = \sqrt[2]{3} \times G_{R,mean}$	46,0 [MN/m ²]
bulk density	ρ_m	420,0 [kg/m ³]			

Verification

Output

Save

Tällä hetkellä laskentatyökalua ei ole ikkuna- tai oviaukon ylityspalkin laskentaa varten palotilanteessa.