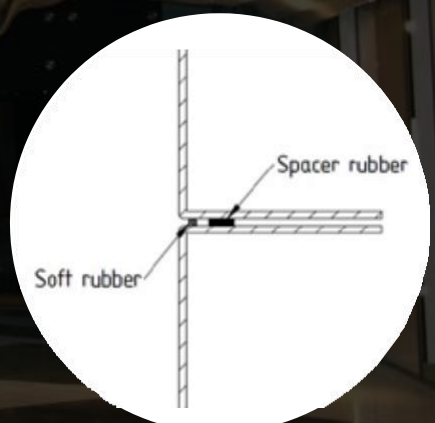
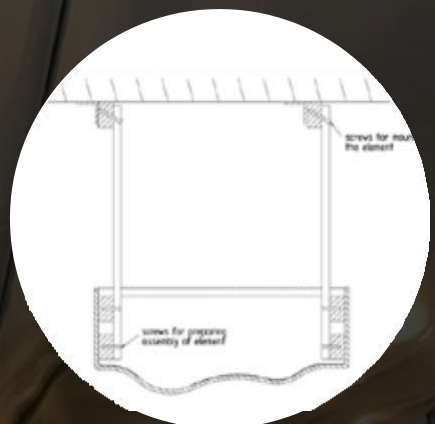
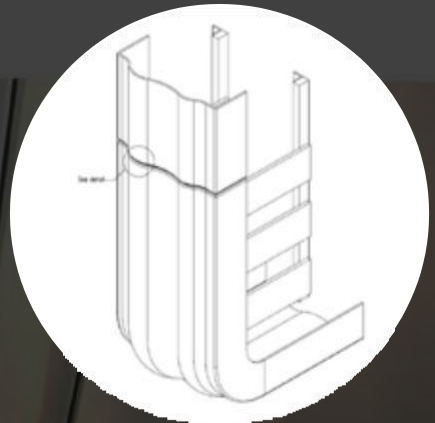




A1(Acrylic One) 设计指南结构



前言

Active Composite Technologies (ACT) 已开发出Acrylic One (A1) 复合材料。自20年来, 这种材料已成功应用于各种产品和应用中。除了复合材料的众所周知的优点(形状自由, 重量轻且坚固)外, A1还具有出色的耐火性, 并且在燃烧过程中不会产生烟雾。这使得A1对于某些应用程序而言是唯一的。

ACT委托Dr. Ir. Poly Products技术总监Albert Ten Busschen撰写本设计指南, 以提供清晰的方法来设计产品并验证结构行为, 例如强度和刚度。Poly Products在多种产品中使用A1已有10多年的经验。此外, 该公司在产品, 复合材料力学, 生产和安装方面拥有广泛的知识。

为了进行严格的审查, 该报告已由Ir. P. A. Joosse预筛选。根据欧洲规范, 他是复合设计和设计方法使用的专家。此外, 他还是最近审阅的关于纤维增强聚合物复合材料结构设计的CUR建议96 (2017) 的作者之一。我们是Ir. P. A. Joosse非常感谢他的严格审查。

Dr. Ir. Albert ten Busschen
Technical Director Poly Products
Werkendam, 20 December 2018

目录

1. 介绍	4
2. 应用范围	7
3. 层压结构和要求	8
4. 机械性能的设计值	10
5. 设计细节和安装方法	11
6. 参考项目	14
7. A1设计方法概述	24
8. 附录	25
A. 符合欧洲规范的设计方法	25
B. 测试计划和结果	27
C. 文学	30



I. 介绍

Acrylic One (A1) 是一种二组分树脂。这些成分是基于硫酸钙 (CaSO4) 和丙烯酸酯类液体的粉末成分。这些成分混合后, 可将树脂加工成产品。这种树脂是水基的, 不会产生VOC (挥发性有机溶剂) 的排放。通常, 组分混合后树脂变为液态的时间 (适用期) 为20分钟, 但可以通过使用缓凝剂来延长或通过使用促进剂来缩短。也可以将额外的填料 (例如沙子) 添加到混合物中。在里面液态时, 树脂可以通过不同的方式进行处理: 浇筑, 在基材上施涂, 喷涂和层压以及在模具中进行补强。特别是与玻璃纤维增强材料结合使用时, 薄壁产品可以制成形状复杂, 重量轻的产品。由于固化时间短, 因此可以缩短生产时间。这实现了有效的生产过程。

除了A1可以高效地制造形状复杂, 重量轻的产品的优点外, A1的一个非常重要的特性是其对火的反应性能。据报道, 根据欧洲标准 EN 13501 (2006年Efectis报告), 该性能为 B - s1, d0; 如果A1化合物填充有25%的沙子 (2017年Efectis报告), 则该性能甚至为 A2 - s1, d0。2017年)。与基于传统合成树脂的复合材料产品或与木基材料相比, 这具有出色的防火性能。



礼堂 (Mahler, Amsterdam)

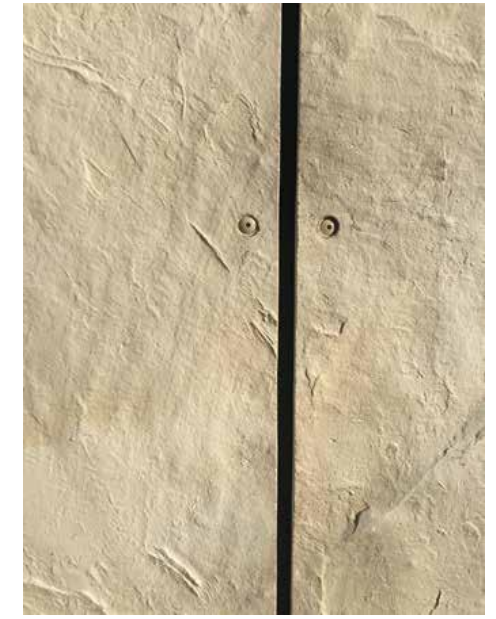


郁金香墙 (IGZ, Amsterdam)

对火灾的良好反应 (A2) 和在火灾期间产生的低烟气 (s1) 均优于例如 聚酯基层压板。这使得用A1制成的产品可以应用于室内项目和关键的外墙应用。通过使用A1来提高防火性能的典型室内项目是“郁金香墙”和“礼堂”。这些项目都是由Poly Products实现的。可能通过使用A1来提高防火性能的典型外部项目是阿姆斯特丹La Place的外立面元素和奈梅亨公寓楼的外墙元素。这两个项目都是由BeConcrete实现的, 在阿姆斯特丹的La Place使用A1制作了35个外墙元素。对防火性能的要求以及形状的自由度和低重量的共同作用导致选择了A1。

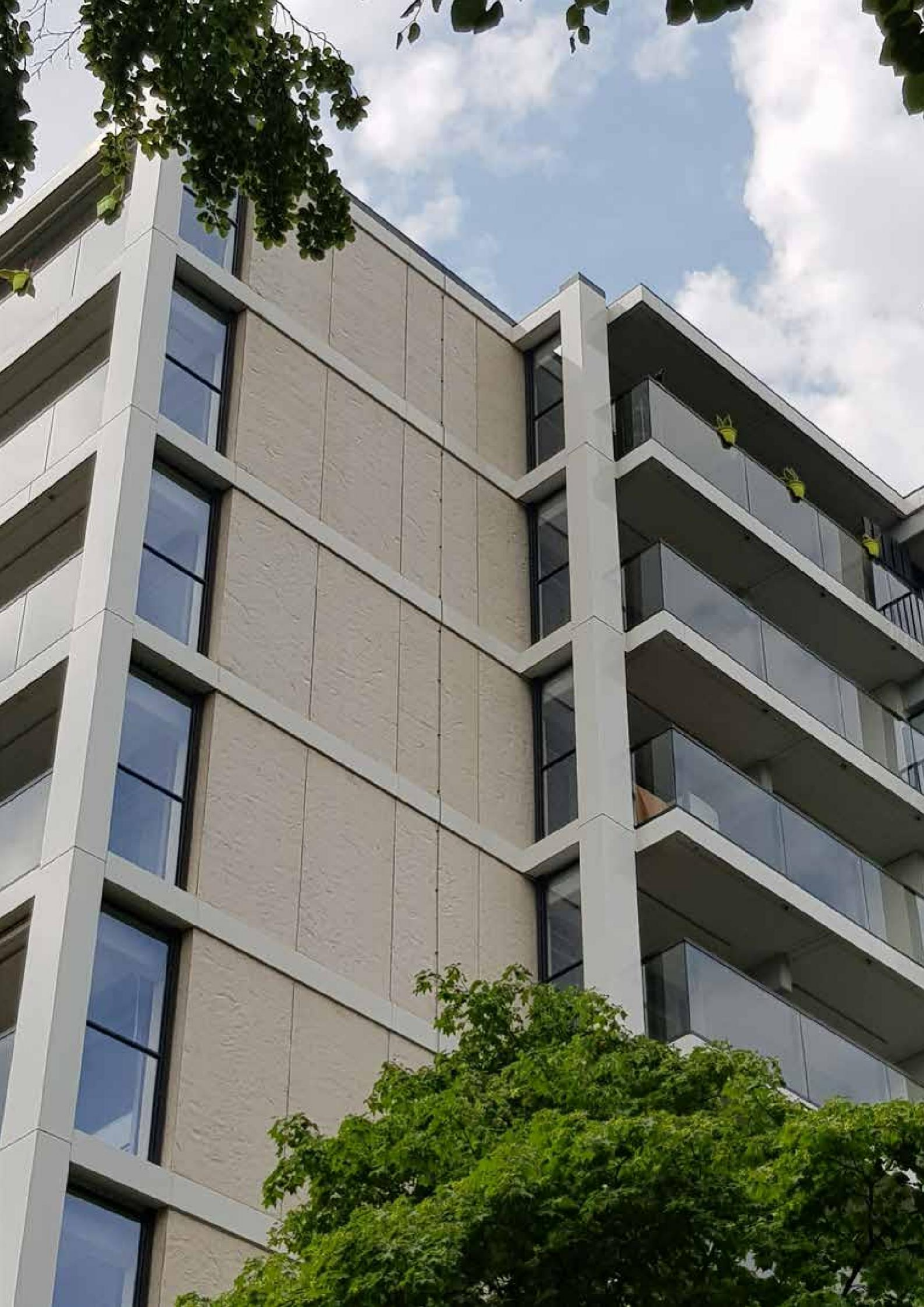


在奈梅亨的 Rentmeesterkwartier, 一栋公寓楼必须翻新。总共安装了1800平方米的立面元素, 可以满足防火要求。需要特殊的表面纹理。此外, 这些元件的最大重量应为15 kg / m2, 并且必须易于安装。这导致选择了用于制造面板的A1。面板直接固定在建筑物上。螺丝涂有与面板相同的颜色, 并且螺丝位置表面的凹槽使螺丝不太明显。



下表比较了基于A1和其他几种材料的层压板。这些材料包括基于标准聚酯树脂和具有尽可能高的帧延迟 (FR) 的聚酯树脂的玻璃纤维增强层压板, 聚酯混凝土和人造板。

防火性能 (EN 13501)	对火的反应	烟	水滴
A1 层压板 (标准)	B	s1	d0
A1 层压板(25%填充沙)	A2	s1	d0
聚酯层压板 (标准)		D	s3 d0
聚酯层压板 (阻燃)	B		s3 d0
PVC (砌面)	B		s2 d0
胶合板 (600公斤/立方米)		D	s2 d0
胶合板 (600公斤/立方米, 阻燃)	B		s1 d0
OSB (600公斤 / 立方米)		D	s2 d2
MDF (600公斤 / 立方米)		D	s2 d0
刨花板 (600公斤 / 立方米)		D	s2 d0
水泥木板 (1000公斤 / 立方米)	B		s1 d0
高压层压板 (1350公斤 / 立方米)		D	s2 d0
HPL (1350公斤 / 立方米, 阻燃)	B		s1 d0
矿物板 (1100公斤 / 立方米)	A2		s1 d0
矿棉板 (100公斤 / 立方米)	A1		s1 d0
混凝土 (2400公斤 / 立方米)	A1		s1 d0



2. 应用范围

A1通常是一种防火性能优异的复合材料。但是，机械性能和耐湿性明显低于基于玻璃纤维增强聚酯或玻璃纤维增强环氧树脂的复合材料。为了说明这一点，在下表中将玻璃纤维增强A1层压板与玻璃纤维毡增强聚酯（UP）层压板的性能进行了比较（指示值）。

机械性能	强度 (MOR*) ，单位MPa	弹性模量 (MPa*) ，单位GPa
A1 层压板 (标准)	43	4
聚酯层压板 (玻璃毡)	120	8
聚酯层压板 (玻璃纤维)	400	15
PVC (砌面)	80	3
胶合板	40	10
OSB	20	3
MDF	15	2
刨花板	15	3
水泥木板 (1000 公斤 / 立方米)	12	7
HPL (1350 公斤/立方米)	70	9
矿物板 (1100 公斤 / 立方米)	25	4
矿棉板 (100 公斤 / 立方米)	-	-
混凝土 (2400 公斤/立方米)	2	30

*1)通过弯曲测试确定增强方向最大。

此外，用A1制成的复合材料在高水分含量的条件下显示出显著的吸水率。在这些情况下，机械性能会进一步降低，并且在永久载荷下的蠕变会加速。但是，再次干燥后，仍可恢复原始机械性能。这些考虑因素导致使用A1构建的复合材料的以下应用领域：

相对干燥的应用：

- 没有永久的湿气接触
- 无永久高湿

避免蠕变：

- 无永久装载

为了量化“无永久水分接触/高湿度”这一术语，必须考虑A1吸收水分的时间范围。当A1与湿气（例如浸入）或较高的相对湿度接触时，根据A1产品的厚度，吸湿过程需要一到几周的时间。因此，A1在潮湿或高湿环境下的暴露时间最多应限制在几天之内。考虑到以上所有考虑因素，用A1构建的复合材料的应用领域可以描述如下：

室内应用：

- 干燥地区（平均相对湿度低于75%）

室外应用：

- 外墙应用
- 艺术品（干燥和通风）

关于户外应用，必须做一些进一步的说明。在外墙应用中，A1产品不应与地面直接接触，以免吸收水分。为了对此进行量化，立面中的A1产品与地面的最小垂直距离应为20 mm。通常，对于外部应用，应避免水平面和雨雪积聚的位置。

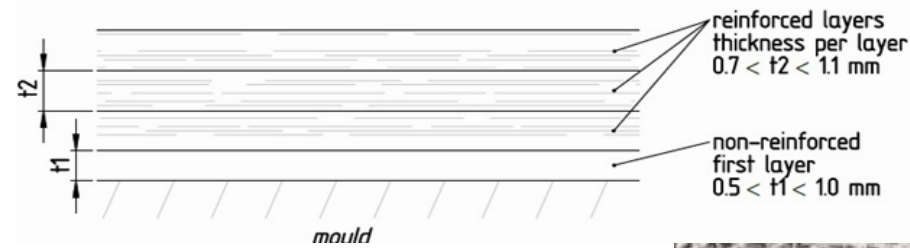
对于外部应用，2008年TNO和2016年SHR Timber Research已对A1的耐久性进行了研究。在外部应用中，对于A1使用特定的密封剂对于保持表面质量至关重要。但是，发现密封剂对结构性能没有影响。此外，可以使用抗涂鸦涂层。

3. 层压结构和要求

通过将增强材料与A1树脂层压在模具中来构建A1结构。为避免产品表面出现干斑，必须通过使用厚度为0.5至1.5毫米（每平方米0.8至2.4千克）的非增强树脂层开始层压。该层的厚度取决于施加方法和在树脂中添加剂的使用，例如树脂。砂。

在该层短暂胶凝后（参见A1的生产说明），将增强层与树脂一起施加。对于每个160克/平方米的三轴玻璃织物层，每平方米需要约1.0到1.7公斤树脂。每个这样的层将形成0.7到1.1毫米的厚度。

Schematic laminate build-up

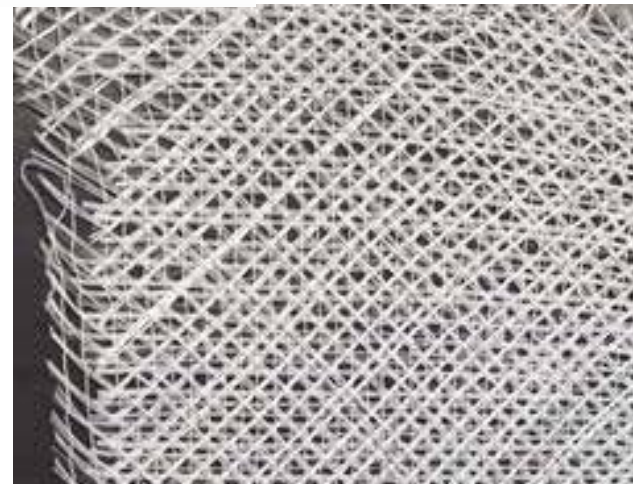


A1的一般说明是，层压板中至少应使用2个增强层。但是，对于A1的结构应用（适用本设计指南），至少应使用3个增强层。没有最大数量的增强层。A1在固化过程中确实会放出一些放热，但不会引起材料降解或火灾危险。在固化厚的层压板期间，发现最高放热峰值温度仅为50°C。但是，当需要厚的层压板时，应考虑使用芯材（例如泡沫或木材）。

- 从厚度为0.5至1.5毫米的非增强层开始
- 层压板中的后续增强层：至少3层

三轴增强材料在结构的纬线方向（称为0°方向）和与纬线方向成+45°和-45°的角处具有玻璃束。没有在弯曲方向（称为90°方向）上定向的钢筋。

从照片中可以看出，纤维束的取向是纬向（照片中的水平方向，称为0°方向），纬向是+45°和-45°。在弯曲方向（照片中的垂直方向，称为90°方向）上，没有定向的玻璃纤维束。但是，缝线在经线方向上取向。



3. 层压结构和要求

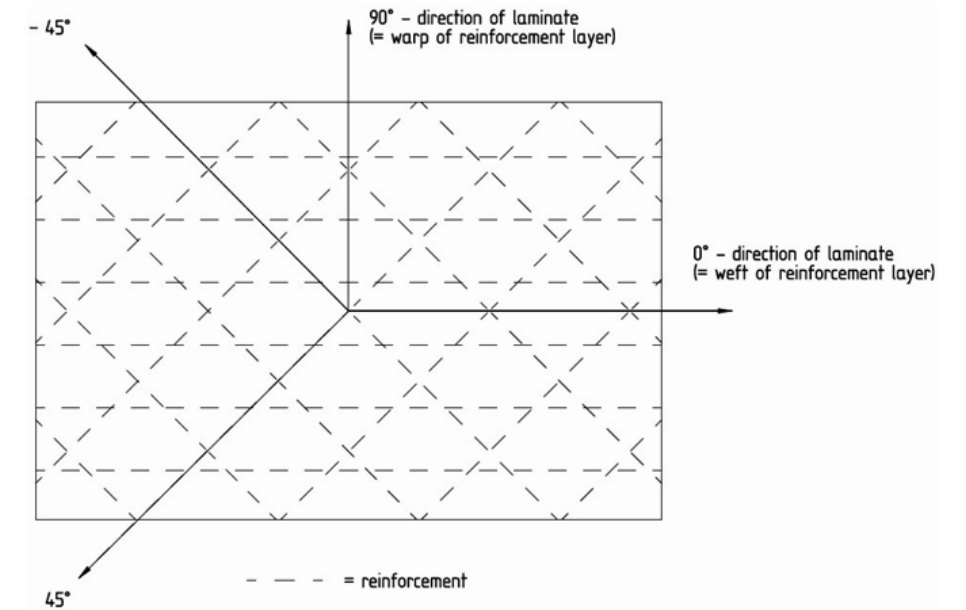
为了确定用三轴增强材料增强的A1的设计性能，增强材料的方向很重要。如果所有增强层都以相同的方向堆叠在层压板中，那么会有一些方向被玻璃纤维束增强，但是也有一个方向（90°方向），其中没有取向的增强束。

它是可以被预期的，没有纤维取向的方向比去增强的方向（0°，+45°和-45°方向）的强度和刚度要弱。根据要求和质量控制的可能性，增强层取向的不同方法是可能的：

定向控制

- 所有增强层方向相同
- 钢筋的交替方向

不受控制的方向（随机加固方向）



在本设计指南中，针对两种极端情况确定了设计属性。这些性能是通过测试具有5个增强层的层压板来确定的，其中层以受控方式定向，所有增强层都具有相同的方向。在0°方向（加强）和90°方向（非加强）的样品上均进行了机械测试。

通过在0°方向上进行测试获得的设计值可提供最高的性能，该性能可以通过生产中受控的定向来实现，其中所有钢筋都具有相同的方向，并沿机械载荷作用的方向定向。通过在90°方向上进行的测试获得的设计值给出了尽可能低的性能，并且在使用交替钢筋方向或方向不受控制（随机）的情况下是安全的设计水平。下图示意性地显示了层压板中的增强方向，增强层的方向受控，且增强层均具有相同的方向。

4. 机械性能的设计值

对于采用增强A1 Composite产品的设计，以下对于准静态载荷的层压性能很重要：

- 面内拉伸性能（E模量和强度）：在0°和90°方向
- 弯曲特性（E模量和强度）：在0°和90°方向
- 层间剪切强度（ILSS）和层间拉伸强度（*）

*层间强度不取决于增强方向。

以上特性已通过SHR测试。测试结果在附录B中描述，并参考SHR测试报告18.0387。使用这个设计方法，测试结果将用于确定设计参数。附录A中描述了此过程。下表中给出了设计参数的摘要。这些对本报告所述范围内的应用程序有效。

如果结构可能发生振动（例如风引起的共振），建议分析结构的本征频率。对于此分析，建议同时使用E模量进行弯曲以进行刚度计算（1363 MPa / 477 MPa）和E模量进行弯曲以进行整体稳定性计算（901 MPa / 315 MPa）。

设计值	属性和单位	0°方向	90°方向
面内张力	电子模量, 刚度 (MPa)	1228	215
	电子模量, 全球稳定性 (MPa)	812	142
	电子模量, 局部稳定性 (MPa)	625	105
	抗拉强度 (MPa)	29	7
弯曲特性	电子模量, 刚度 (MPa)	1363	477
	电子模量, 全球稳定性 (MPa)	901	315
	电子模量, 局部稳定性 (MPa)	693	233
	抗弯强度 (MPa)	11	6
ILSS	剪切强度 (MPa)	1.50	
横向强度	抗拉强度 (MPa)	0.27	

关于A1层压板的线性热膨胀有一个特别的说明。该材料的线性热膨胀系数已由TNO确定为 $5 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ （请参见2008年TNO报告）。该值明显低于其他材料。这导致必要的相对较小的扩张规定。在下表中给出了线性热膨胀系数的值。

材料	热膨胀系数 ($10^{-6} / ^\circ\text{C}$)
A1 层压板	5
玻璃 (窗玻璃)	8
混凝土	12
钢	12
铝	23
聚酯层压板 (玻璃垫)	24
PVC	80
HDPE	200

5. 设计细节和安装方法

对于使用A1进行设计，必须注意设计细节的几个方面。在下文中，给出了设计细节和安装方法。还限制了对于良好设计有用的功能。这并不意味着，如果不遵循本设计指南的建议，则设计不是很好。本指南中的内容是ACS的观点，也是作者使用增强A1产品进行设计的好方法。

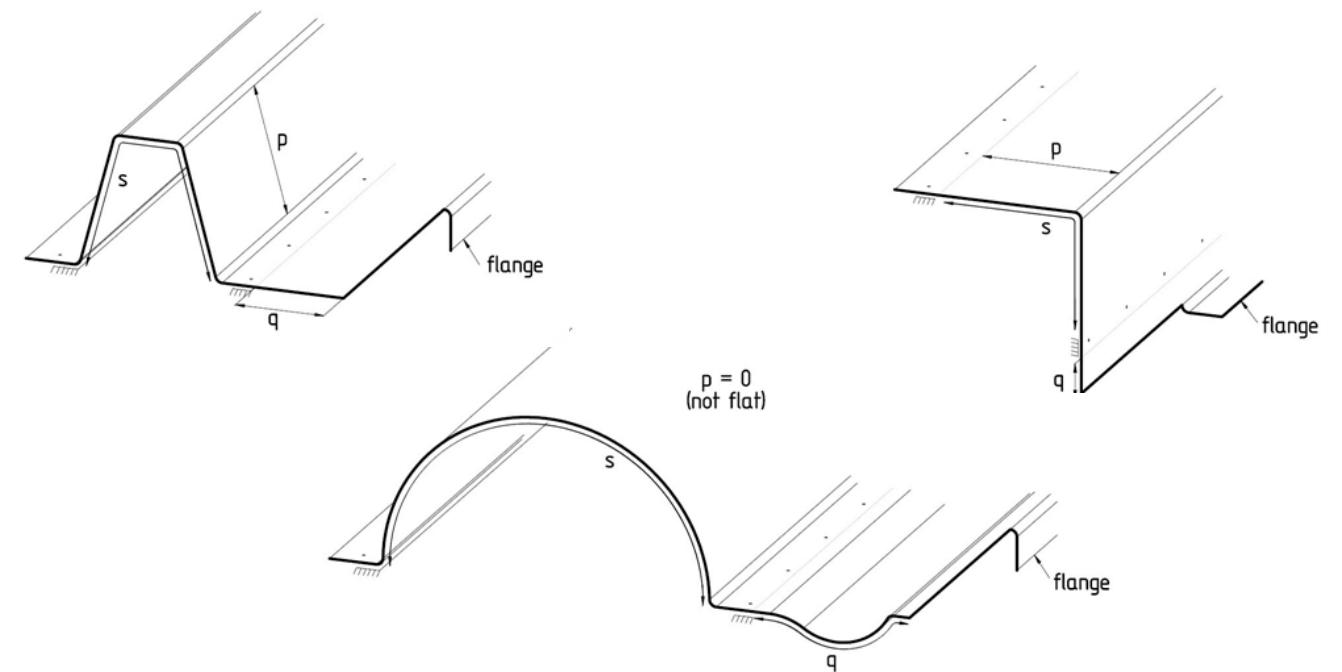
许多设计细节取决于以下事实，即用于结构零件的A1总是要用增强层（三轴玻璃织物）进行处理，该增强层与树脂一起形成模具中的层压板。因为在模具中施加了增强层，所以模具表面的半径应具有最小半径。当产品的半径太小时，产品外部边缘的一部分将不被加固（因此较弱），或者产品内部边缘将遭受浸渍不良的增强。因此，通常，产品边缘的半径应为R：

R ≥ 5 毫米

必须指出的是，从生产的角度来看，制造具有较小半径的边缘甚至尖锐边缘的A1产品并不困难，但是这种边缘的结构性能（强度）可能会很低。

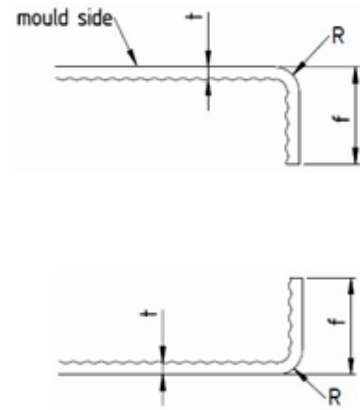
此外，当产品由扁平零件制成时，这些零件的自由跨度（p）不应太大。这取决于层压板的厚度。另外，两个支撑之间的总长度也不应太大。对于仅在一侧支撑的零件，自由跨度（q）的长度受到限制。但是，额外的法兰允许更大的自由跨度。下一页的示意图显示了参数p、q和s的含义。在下表中，给出了与层压板厚度有关的参数最大值。给出了三个厚度的值，这些厚度将覆盖经常用于用A1制成的层压板的一系列厚度。

层压板厚度 (毫米)	平面最大跨度 p (毫米)	最大自由跨度 q (毫米)		支撑之间的最大长度 s (毫米)
		无法兰	有法兰	
3	300	100	200	1000
5	400	150	250	1250
7	500	200	300	1500

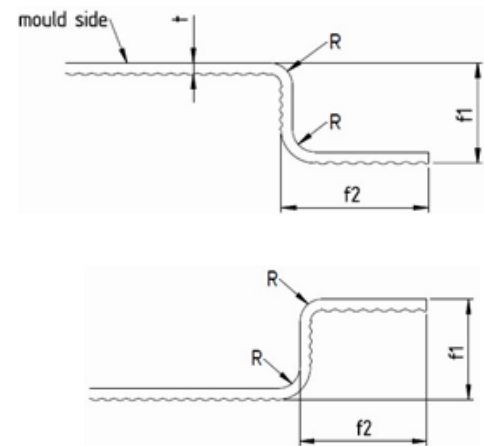


5. 设计细节和安装方法

对于法兰，最小和最大长度取决于厚度。同样，对于多个法兰，最小和最大长度取决于层压板的厚度。在所有情况下，模具侧角的最小半径均为5 mm。下图和表格给出了数字。



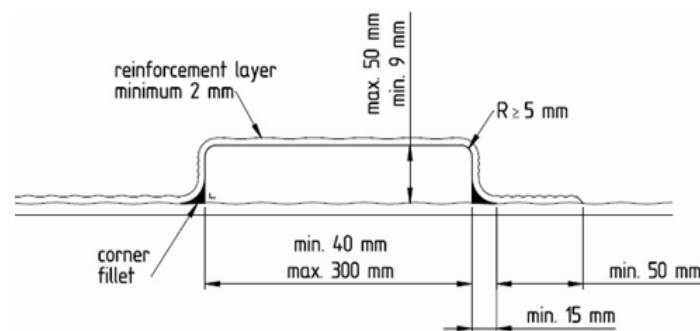
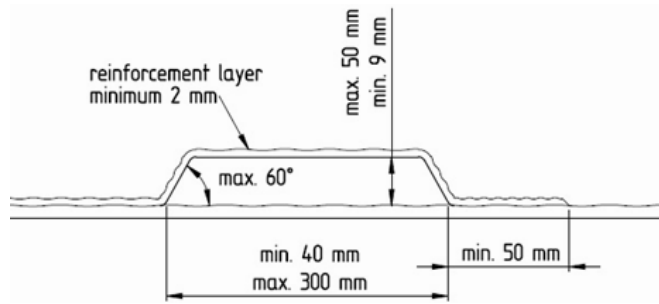
层压板厚度 t (毫米)	法兰长度 f (毫米)		最小半径 R (毫米)
	最小	最大	
3	30	100	5
5	40	150	5
7	50	200	5



通过在层压板中加入型材，可以在手工铺层过程中实现加劲肋。然后，这样的轮廓充当局部三明治结构中的核心材料。可用作加强件的芯材的合适材料是胶合板，实木，铝型材，EPS泡沫和PET泡沫。使用芯材时，应在层压过程中用树脂预浸润芯材的外表面，以确保与增强层的良好粘合。

建议仅在室内应用中对A1产品使用木质芯材。此外，当使用木质材料作为芯材时，所得结构的顶面也可用于通过螺钉连接来连接其他零件。

下图显示了将型材作为叠层中的核心合并的方法。

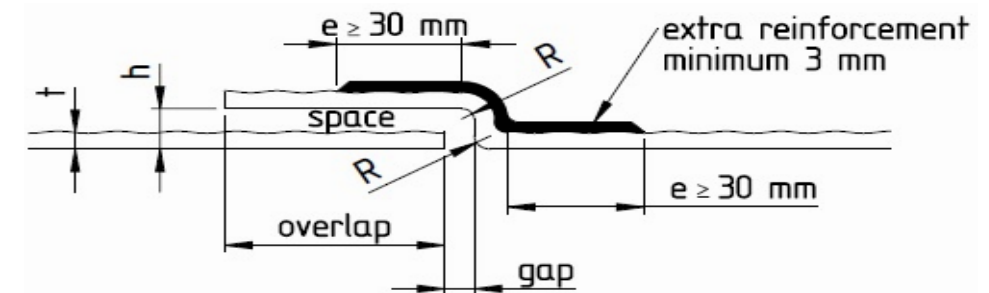


层压板厚度 t (毫米)	法兰长度 f1 (毫米)		法兰长度 f2 (毫米)		最小半径 R (毫米)
	最小	最大	最小	最大	
3	30	100	30	100	5
5	40	150	40	150	5
7	50	200	50	200	5

5. 设计细节和安装方法

慢跑经常用于将产品装配到相邻的元素中。缓冲件和相邻元素之间的空间可以保持开放（空气），以允许元素之间不受干扰的游隙（膨胀）。而且空间还可以用于将两个元素粘合在一起。这个空间的厚度

在有开放空间（空气）的情况下，应将其保持在最低限度，以免表面不平整不会妨碍自由运动。相反，对于粘合空间，应将空间的厚度限制为最大，以避免粘合剂层太厚。



层压板厚度 t (毫米)	最小半径 R (毫米)	空间尺寸 (厚度和交叠)			
		露天 (空气)		胶合	
		最小 h (毫米)	最大 交叠 (毫米)	最大 h (毫米)	最小 交叠 (毫米)
3	5	5	30	8	40
5	5	7	30	10	50
7	5	9	30	12	60

6. 参考项目

郁金香板阿姆斯特丹

2006年，Fokkema Architects为阿姆斯特丹IGZ（国家卫生检查局）的新办公室设计了内部弧形墙。除了壁具有复杂的形状（曲率半径因位置而异）之外，还需要在表面上合并郁金香的浮雕图片。由于对形状和表面光洁度的这些要求，制造此墙的唯一可能的材料是纤维增强复合材料。



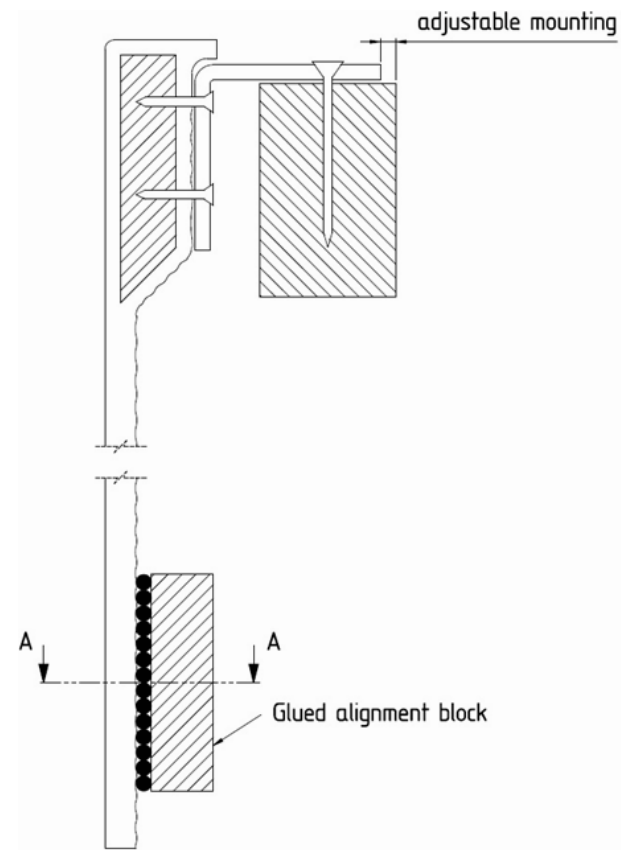
Fokkema用郁金香图片渲染弯曲的墙壁

由于对着火行为和烟雾产生的要求，不可能使用众所周知的合成树脂来制造复合产品（聚酯，环氧树脂）。但是A1可以轻松满足防火和防烟要求，并且可以层压在模具中，从而可以实现不同的曲率和表面光洁度。

在2007年，Poly Products开发了一种实现弯曲墙的方法。该方法包括制造具有不同曲率的圆柱形面板。这些面板将安装在木质背面结构上。重要的是，该方法应易于安装并在调整中具有灵活性，以确保边缘平滑地适合相邻面板。

大多数面板的宽度为1200毫米。通过使用带有郁金香图案的柔性有机硅模制层，可以通过将该层放置在弯曲的子结构上来制作具有不同曲率的面板。因此，面板的半径范围从 - 6000 mm（凹面）到 + 6000 mm（凸面）不等。为了便于安装，这些元素在面板背面的顶部配有两个或三个钢制角钢。通过悬挂

这些在木质后背结构上的角形件可以调整，直到安装得很好为止，请参见下图。

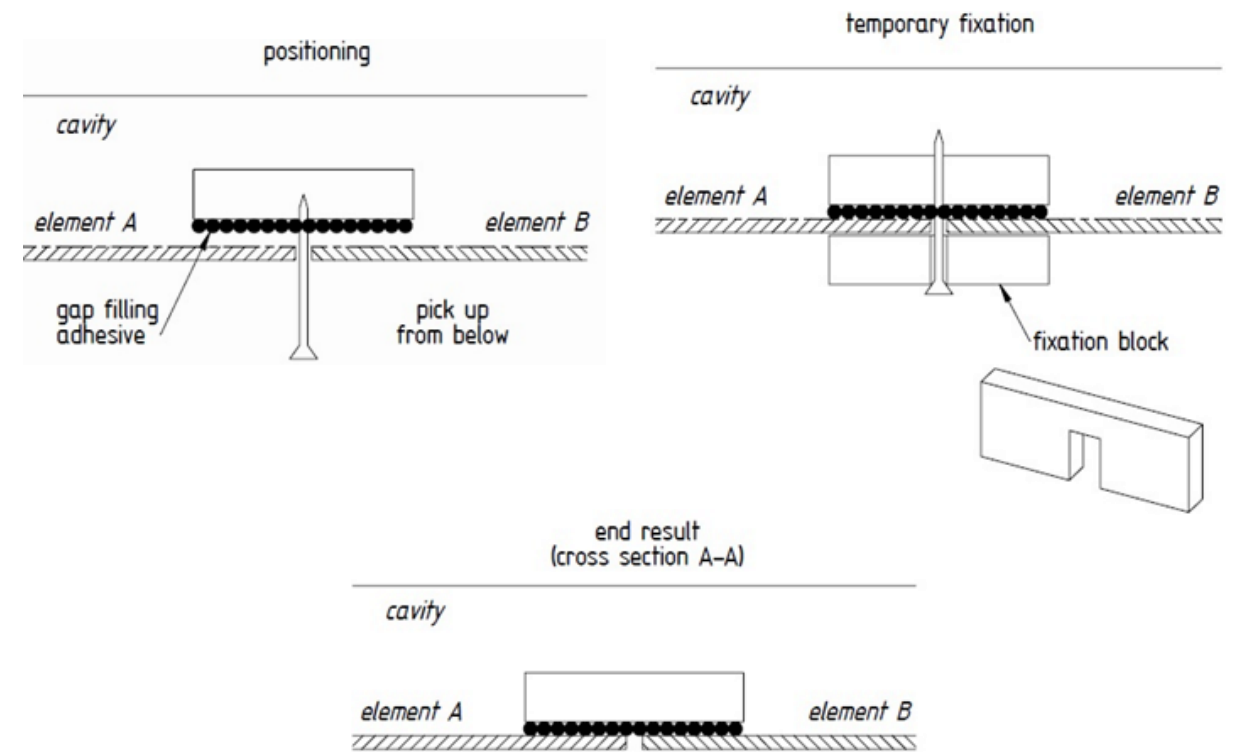


为了使与相邻元素的连接在元件的下部齐平，已使用了胶合的定位块。



6. 参考项目

在将元件定位并固定在顶部的角铁件上之后，使用细的长螺钉从底部移动带有一层填充胶的木制定位块，请参见下图“定位”。然后，通过滑动临时固定装置



在螺钉上固定挡块，可以暂时固定对准挡块，直到粘合剂固化。最后一张图片“最终结果”显示了卸下螺丝和临时固定块后的结果。



6. 参考项目

阿姆斯特丹礼堂

2007年, Erick van Egeraat建筑师 (EEA) 为位于阿姆斯特丹的马勒大厦内的礼堂进行了覆盖设计。同样, 由于要实现复杂的形状以及对防火性能的要求, 因此使用A1的选择显而易见。



EEA渲染礼堂外表面

2008年, Poly Products开发了一种实现和安装元件的方法。每个元素均已在模具中与A1层压在一起。在元件的内部, 装有36毫米的胶合板条作为安装梁。当仍在模具中时, 将18毫米胶合板的条带拧到这些梁上。胶合板条 (每个元素6或8个, 从元素的背面延伸) 随后用于将元素安装在建筑物中。

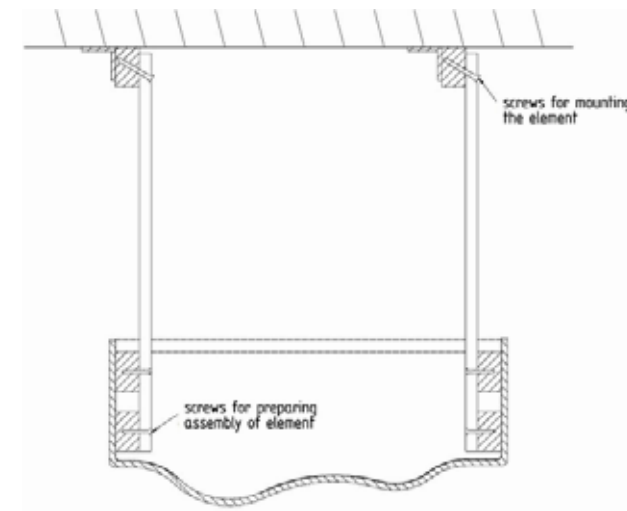


层压元件, 侧面放置36毫米胶合板横梁



层压板和18 mm胶合板条的进一步内部加固

将元素安装到建筑结构的原理是基于将元素后面的突出的18毫米胶合板条固定到已安装到建筑结构的木梁上, 请参见下图。



18mm突出的胶合板条在垂直方向上具有相对高的强度和刚度, 在垂直方向上它们必须承载元件的重量。这些条在横向上表现为相对柔性的, 这使得与相邻元件的对准相对容易。

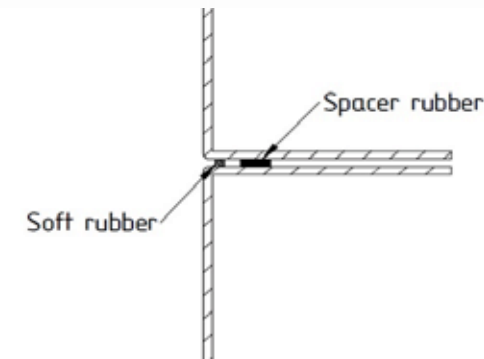
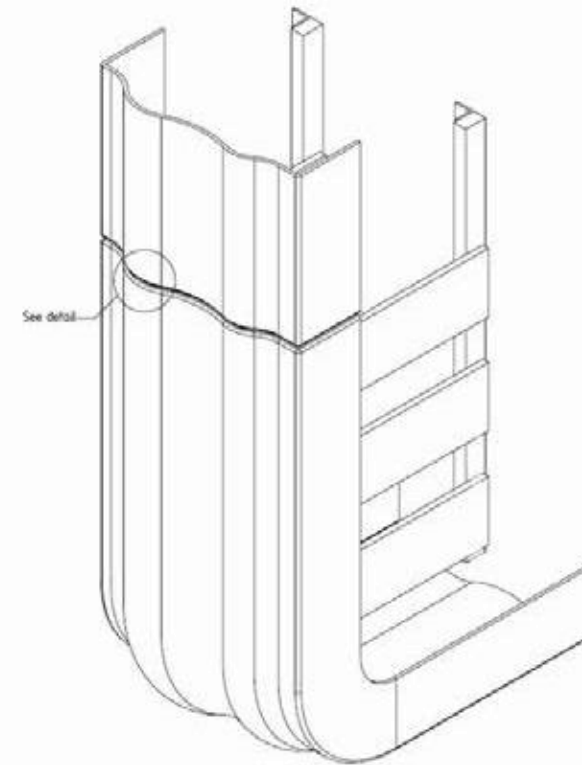


6. 参考项目

对于最初相互对齐的两个元素之间的膨胀间隙, 设计为通过微动来实现。然而, 这将在每个模具中涉及额外的插入物。

此外, 要获得从一个元素到另一个元素完全齐平的情况将变得困难。

并且当必须将一个元件的接合部装配到相邻元件的内部空间中时, 存在在元件安装期间损坏接合部的风险。如下图所示, 通过两个元素的连接, 说明了如何通过另一个细节解决该问题。



代替轻推, 两个元件都设有平顶平面。在间隔元件之一上粘贴隔离橡胶, 以提供所需的膨胀距离。在可见边缘附近, 白色, 可压缩的橡胶条已粘贴在外边缘的固定距离处。该原理如下图所示。

在安装元件期间, 可以将其轻柔地放在先前的带有隔离橡胶和带状白色柔软橡胶的元件上。如下图所示。

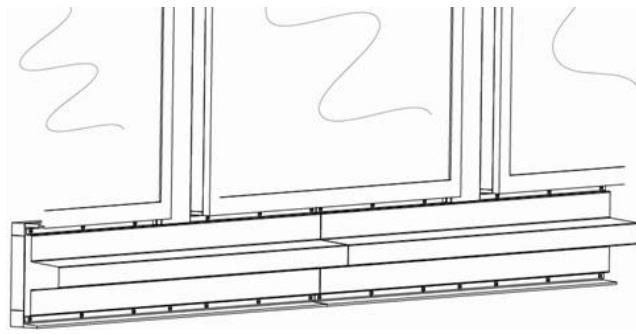


6. 参考项目

外墙板阿姆斯特丹

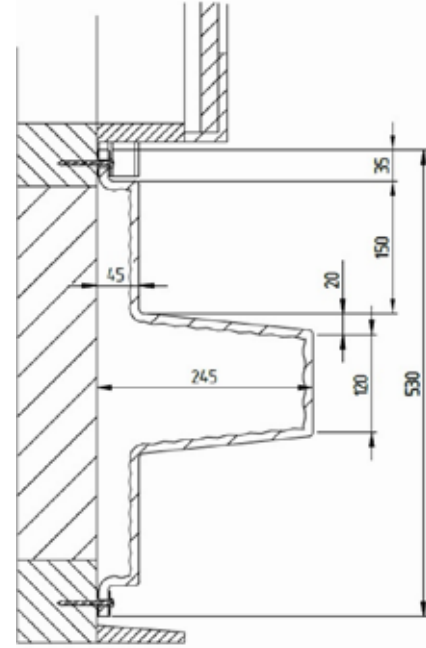
Rijnboutt 建筑师于2017年设计了阿姆斯特丹弗莱彻奥林匹克酒店。在外面元素中，窗户之间采用混凝土外观设计。这些元素水平和垂直定向。

建筑公司Van Wijnen Lelystad已研究了将这种薄壁型材与Poly Products一起使用的可能性。通过使用薄壁型材，可以实现轻巧的重量，这有助于安装过程并减少将元素锚固到建筑物的要求。



外墙中水平元素的位置

在水平元素中，已经产生了不同类型。在下文中将考虑在风荷载中最关键的类型。该图显示此元素的横截面和相关尺寸。



对于结构评估，尤其要评估风力。以下内容描述了给定的配置文件。

风荷载在元素上

元素的最大高度为离地面47米。该建筑位于阿姆斯特丹的非建筑环境中。根据欧洲规范NEN-EN 1991-1-4，这些参数可确定设计风压为：

$$p_d = 1.34 \text{ kPa} = 1340 \text{ Pa} = 1340 \text{ N/m}^2$$

对于吸风，所谓的外部压力系数等于：

$$\text{外压系数 (吸风)} = C_{pe} = -1.4$$

由于风荷载是动态的，因此荷载系数为：

$$\text{荷载系数} = \gamma_F = 1.5$$

轮廓的一米投影面积为：

$$\text{一米轮廓的投影面积} = A = 0.53 \text{ 平方米}$$

6. 参考项目

据此，可以计算出一米轮廓的设计力 F_d ：

$$F_d = p_d \cdot |C_{pe}| \cdot \gamma_F \cdot A = 1340 \cdot 1.4 \cdot 1.5 \cdot 0.53 = 1491 \text{ N}$$

与建筑物的连接强度

型材与建筑物的连接强度由连接方法确定。为此选择了直径为5 mm，轴长为60 mm的螺钉。为了分散负载，使用了直径为29 mm的垫圈。螺丝和垫圈如下图所示。

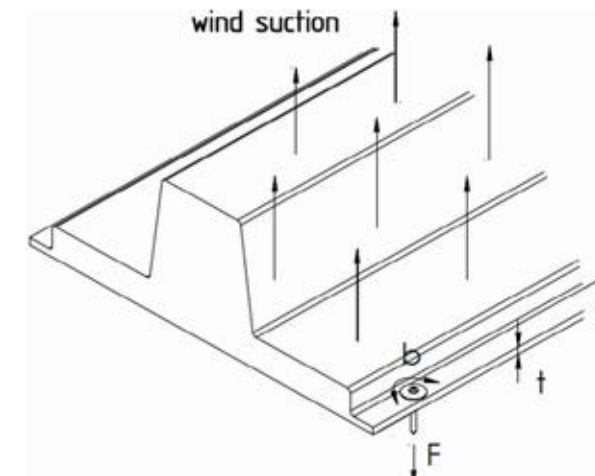


用这些类型的螺钉将元件安装到云杉直尺上。当云杉直尺中的螺钉有效深度为29 mm时，拉拔强度为1821 N（根据EN 1995用于木结构）。对于这种拉出强度，材料系数为

用于 $\gamma = 2$ 。因此，螺丝的设计抗拉强度 F_{pull} 为：

$$F_{pull} = 1821 / \gamma_m = 1821 / 2 = 911 \text{ N}$$

要考虑的另一个方面是螺钉和垫圈穿过A1法兰的抗拉强度。下图显示了如何将螺丝和垫圈拉入。



力的结果是在层压板中产生层间剪切应力。断裂面积 A_f 由断裂长度 $b=75 \text{ mm}$ 和层压板的厚度 $t = 5 \text{ mm}$ 决定。厚度上的剪切应力分布将是抛物线形，并导致以下断裂力 F_f ：

$$F_f = \frac{2}{3} \cdot \tau \cdot A_f = \frac{2}{3} \cdot 1.50 \cdot 75 \cdot 5 = 375 \text{ N}$$

在该方程中， A_1 的层间剪切强度的设计值 τ_d ，源自第11页上的表。在这个参数中已经包括了物质因素。显然，拉拔的断裂力 F_f 在构件与建筑物的连接中至关重要。

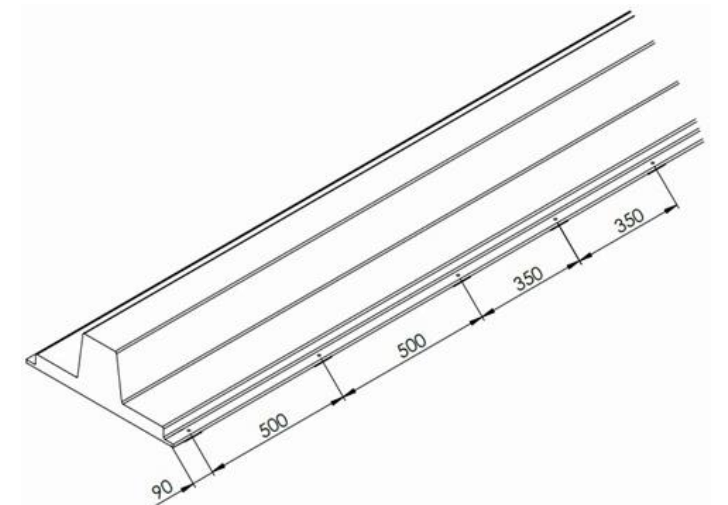
螺钉始终以两组为一组放置，每组都位于型材的一个法兰上。将设计载荷与两个螺钉组的设计强度进行比较时，可以计算出每米轮廓的螺钉组数量：

$$\text{每米套数} = F_d / (2 F_f) = 1491 / (2 \cdot 375) = 1.99$$

这意味着每 $1 / 1.99 = 0.50$ 米需要一组两个螺钉。因此，沿着法兰，螺钉的最大距离应为500 mm。

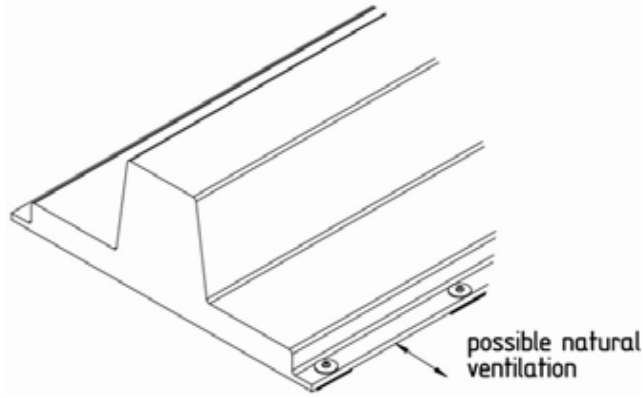
在项目中，螺钉的最大距离选择为500 mm。此外，靠近型材末端的螺钉的最大距离选择为90mm。

由于元件的长度各不相同，因此有时两个螺钉之间的距离小于500毫米。说明了项目中的典型螺钉样式。



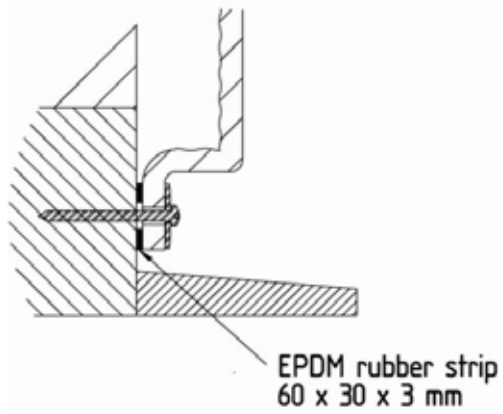
6. 参考项目

为了避免湿气由于冷凝而积聚，在元件和建筑结构之间形成一个开口。



通过在安装过程中在构件和建筑物之间放置 3 mm的EPDM橡胶条来实现这些通风口。

cross-section detail



这些元件是由聚酯模具通过手工铺层生产的。为了使元件在宽度方向上变硬，在元件的背面结合了铝型材。这些铝型材也已用于将产品从模具中释放出来，并用于进一步的处理和运输。



6. 参考项目

外墙元素La Place Amsterdam

建筑物的旧立面必须更换。首先，旧立面已通过3D激光扫描进行了扫描。以这种方式，可以以相同的尺寸和相同的细节精确地重建立面。根据扫描的数据，已经制作了3D模型，其中要制作的所有35个A1元素。



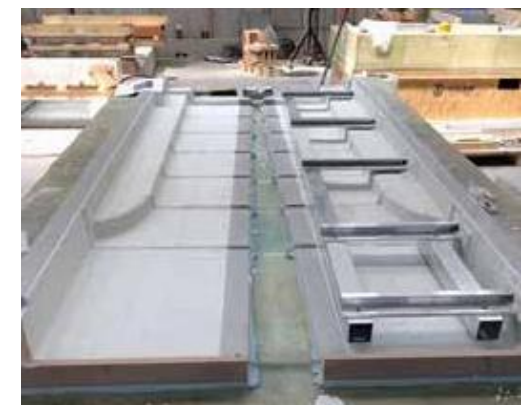
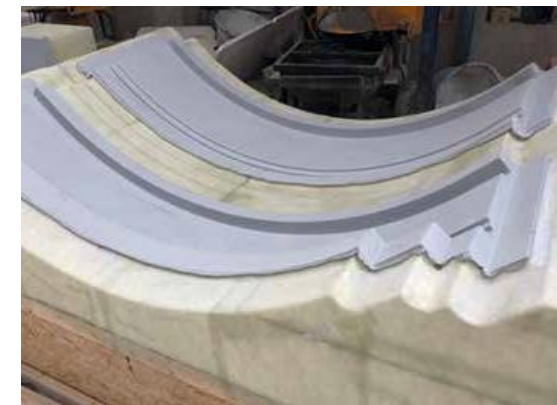
立面元素的3D模型

NedCam已为每个要制造的元件制作了直接模具。直接模具由具有PU粘贴层的EPS基底制成，该层已研磨至确切尺寸。

在模具中，已使用A1生产了元件。通过从非增强树脂层开始，然后层压四层160克/平方米的三轴玻璃增强层来构建这些层。固化后，将铝制安装结构连接到

通过层压面板的背面。包括安装结构在内，这些元件的表面重量为20 公斤 / 平方米。

由于重量轻，这些元件易于安装。通过这种方式，阿姆斯特丹La Place的外立面得以建造。



6. 参考项目

桥梁元素阿默斯福特

为了在阿默斯福特（Amersfoort）的铁路上天桥，侧面元素被设计为混凝土元素。但是，这样的元件每米桥缘重900公斤。由于元素的总长度为200米，因此重量为180吨。这是不可接受的。因此，这些元件是由A1制成的，表面具有混凝土外观。通过使用集成的铝安装结构，由A1制成的元件每米仅重150公斤。比混凝土元素轻80%以上。



由于A1元素的重量轻，因此产生了其他优势。由于重量轻，可以在整个安装系统上节省大量费用。此外，由于重量轻，到建筑工地的运输和元件的安装明显便宜。与使用混凝土构件相比，构件的安装时间缩短了50%。

A1元素已层压在模具中，请参见下图。仍然在模具中，铝制安装框架通过层压连接到A1元件。以这种方式，铝框架可以被精确地定位，这对于将组件安装在桥缘上的钢结构上是重要的。下面的第二张照片显示了如何将这种铝结构连接到桥的边缘。



模具中层压有A1元素



铝结构安装到钢结构上（不含A1元素）

6. 参考项目

准确调整桥边缘的钢结构非常重要。通过这种方式，铝结构可以直接连接到铝结构，从而使元素完美对齐。下图显示了在Amersfoort中将元件安装在桥边缘的过程。



最终结果是由精确对齐的元素建立的桥边缘。通过使用A1可以实现混凝土外观，A1的重量比用混凝土制成的桥梁边缘少80%。



7. A1的设计方法的概要

应用领域

相对干燥且无永久载荷

- 最高使用温度: 115°
- 内部应用: 平均相对湿度 (RH) 低于75% 的区域
- 外部应用: 无永久水分, 无直接土壤接触

A1增强层压板

- 模具上的第一层: 0.5到1.0毫米的非增强层
- 160 克 / 平方米的三轴玻璃纤维增强层
- 层压板中最少3层, 最多7层钢筋

受控铺网: 可以使用0° 方向的设计值 (增强方向)

其他布局 (交替, 随机): 要使用90° 方向的设计值 (可以在任何方向上始终使用)

线性热膨胀增强A1层压板的系数为 $5 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。

设计细节

- 模压边缘的半径必须为 $R \geq 5$ 毫米
- 验证平面的跨度, 自由跨度长度和不受支持的总长度
- 检查法兰, 齿轮和插入件的细节
- 仅在室内应用中将木质基芯材用于A1产品。

设计值	Property and unit	0° direction	90° direction
面内张力	电子模量, 刚度 (MPa)	1228	215
	电子模量, 全球稳定性 (MPa)	812	142
	电子模量, 局部稳定性 (MPa)	625	105
弯曲特性	抗拉强度 (MPa)	29	7
	电子模量, 刚度 (MPa)	1363	477
	电子模量, 全球稳定性 (MPa)	901	315
ILSS	电子模量, 局部稳定性 (MPa)	693	233
	抗弯强度 (MPa)	11	6
横向强度	剪切强度 (MPa)	1.50	
	抗拉强度 (MPa)	0.27	

8. 附录

A.根据欧洲规范的设计方法

在欧洲规范EN 1990中, 描述了结构零件的公认设计方法。为了进行结构评估, 在欧洲规范EN 1991中描述了荷载的合并。在欧洲规范EN 1992至EN 1999中, 仅对传统材料 (如钢, 混凝土, 木材, 铝和砖石) 的材料行为进行了标准化。对于A1, 欧洲规范中没有描述如何特别处理该材料。但是, EN 1990描述了一种方法, 该方法如何通过进行测试来确定用于设计结构评估的材料特性。为此, 使用本欧洲法规的附录D: 附录D (参考性), 通过测试辅助设计。

当通过特性值 (D7.2) 对某个材料特性X进行材料特性评估时, 可以通过以下方式从测试数据中确定设计值 X_d :

$$X_d = \eta_c \cdot X_{k(n)} / \gamma_m = \eta_c \cdot m_x \cdot \{1 - k_n \cdot V_x\} / \gamma_m$$

在此公式中, 参数表示以下内容:

X_d = 材料性能设计值X

η_c = 转换系数

$X_{k(n)}$ = 5%特征值测量值

γ_m = 物质因素

m_x = 测量值的平均值

k_n = 特征值5%的因数

V_x = 变异系数 (= s_x / m_x)

s_x = 测量值的标准偏差

k_n 的值取决于已测试的测试样品的数量。这些值在标准表D1中列出。在下表中, 其中某些值是在假设变量系数 (v_x) 事先未知的情况下给出的。

测试次数 (n)	5	8	10	16 (*)	20	无限
k_n 的数值	2.33	2.00	1.92	1.82	1.76	1.64

需要进一步解释两个因素: 转换系数, η_c , 和材料系数, γ . 转换因子是特定于材料的, 并结合了对材料的外部影响:

1) 温度, 2) 水分, 3) 蠕变和4) 疲劳。

1. 温度换算系数

按照复合材料的惯例, 如果设计温度在材料的玻璃化转变温度 (T_g) 下保持低于40°C, 则温度的转换因子设置为1 (无附加影响) (另请参见CUR-96)。从而:

$$\eta_{c,T} = 1 \text{ 设计温度 } T_d < T_g - 40$$

对于A1, 玻璃化转变温度 T_g 确定为155°C, 因此建议允许设计温度达到115°C。在这种情况下, 温度的转换系数为1。

2. 水分换算系数

对于A1, 结构应用范围仅限于相对干燥的环境。但是, A1是

已知对水分变化敏感。已经进行了一系列测试, 比较了在50%RH下储存的A1层压板与在86%RH下储存直到平衡的层压板的机械性能 (均在室温下)。这些结果列在附录B中

对于A1, 已经发现, 与在50%RH下储存相比, 在86%RH下储存时强度和刚度将降低。但是, 0° 测试特性和90° 测试特性之间的效果有所不同。在附录B中对此进行了评估, 并得出以下水分换算系数。

$\eta_{c,M} = 0.75$ 对于 0° 属性

$\eta_{c,M} = 0.60$ 对于 90° 属性

8. 附录

3. 蠕变的转换系数

在A1的情况下，结构应用的范围仅限于无明显永久载荷的情况。允许的载荷是非永久性的，例如风荷载。必须检查由于重量引起的永久载荷可以忽略不计。在这些情况下，不会产生蠕变影响，并且将蠕变的转换系数设置为1：

$$\eta_{c,c} = 1$$

4. 疲劳转换系数

对于复合材料，通常在循环（疲劳）加载的情况下使用以下转换因子（另请参见CUR-96）：

$$\eta_{c,f} = 0.9$$

因此，对于温度保持在115°C以下，相对干燥且不会对结构施加永久性载荷的应用进行设计，可以根据上述转换系数计算出转换系数：

$$\eta_c = \eta_{c,T} \cdot \eta_{c,M} \cdot \eta_{c,c} \cdot \eta_{c,f} = 1 \cdot 0.75 \cdot 1 \cdot 0.9 = 0.68$$

对于0°特性和与方向无关（层间）特性

$$\eta_c = \eta_{c,T} \cdot \eta_{c,M} \cdot \eta_{c,c} \cdot \eta_{c,f} = 1 \cdot 0.60 \cdot 1 \cdot 0.9 = 0.54$$

对于90°性能

以同样的方式评估材料因素。该因素包括考虑财产确定中可能存在的不确定性的部分。用于确定财产的测试这个因素是：

$\gamma_{M1} = 1.15$ (根据测试确定)

当从理论模型或文献参考中确定该特性时，该因子为1.35（不确定性要大于测试）。但这不是事实。

对于制造方法的变化，假定产品是通过手工铺叠的方式制造的。此外，假设产品已完全固化。然后，取决于预期的变化系数，将使用哪种材料系数。由于从测试中可以清楚地看出，变异系数通常大于10%，因此采用CUR-96的值表示较高的变异系数。

然后，使用这种制造方法，系数为（另请参见CUR-96，表2.2）：

$$\gamma_{M2} = 1.0 \quad \text{对于刚度}$$

$$\gamma_{M2} = 1.5 \quad \text{为了力量和全球稳定性（屈曲）}$$

$$\gamma_{M2} = 2.0 \quad \text{局部稳定（起皱）}$$

结合两个因素，物质因素变为：

$$\gamma_m = \gamma_{M1} \cdot \gamma_{M2} = 1.15 \cdot 1.0 = 1.15 \quad \text{(刚度)}$$

$$\gamma_m = \gamma_{M1} \cdot \gamma_{M2} = 1.15 \cdot 1.5 = 1.73 \quad \text{(强度, 全球稳定性)}$$

$$\gamma_m = \gamma_{M1} \cdot \gamma_{M2} = 1.15 \cdot 2.0 = 2.30 \quad \text{(局部稳定性)}$$

考虑上述参数并使用n个测试系列的测试数据（带有kn的伴随值），设计属性的公式变为：

$$X_d = (\eta_c / \gamma_m) \cdot X_{k(n)}$$

$$= (\eta_c / \gamma_m) \cdot m_x \cdot \{1 - k_n \cdot V_x\}$$

因为转换系数取决于所考虑的特性的方向（0°和90°），而材料系数取决于所考虑的机械分析的类型（刚度，强度，整体稳定性和局部稳定性），所以首先要对系数 (η / γ) 。

系数 $(\eta / \gamma)_{c,m}$	0°和层间	90°
刚度	0.59	0.47
强度与全球稳定	0.39	0.31
局部稳定性	0.30	0.23

该设计方法专门针对以下增强型A1Composite产品的层压性能而制定：

- 面内拉伸特性（E模量和强度）：在0°和90°方向
- 弯曲特性（E模量和强度）：0°和90°方向

8. 附录

- 层间剪切强度 (ILSS, *)

- 层间拉伸强度 (*)

*)层间强度不取决于增强方向。

以上性能已在完全固化的层压板上进行了测试（生产后至少七天，存放在干燥通风的室内）。在测试之前，将样品调节至实验室条件（23°C和50%RH）。测试结果在附录B中进行了描述。特性基于一系列样品的测试，其中样品数（n）取决于测试类型。下表总结了测试结果。给出了平均值（mx）和变异系数（Vx）。使用设计方法，测试结果将用于确定下表中概述的设计参数。对于张力的E模量，只能使用7次测量，因此在这种情况下（*）使用kn = 2.08。

B. 测试程序和结果

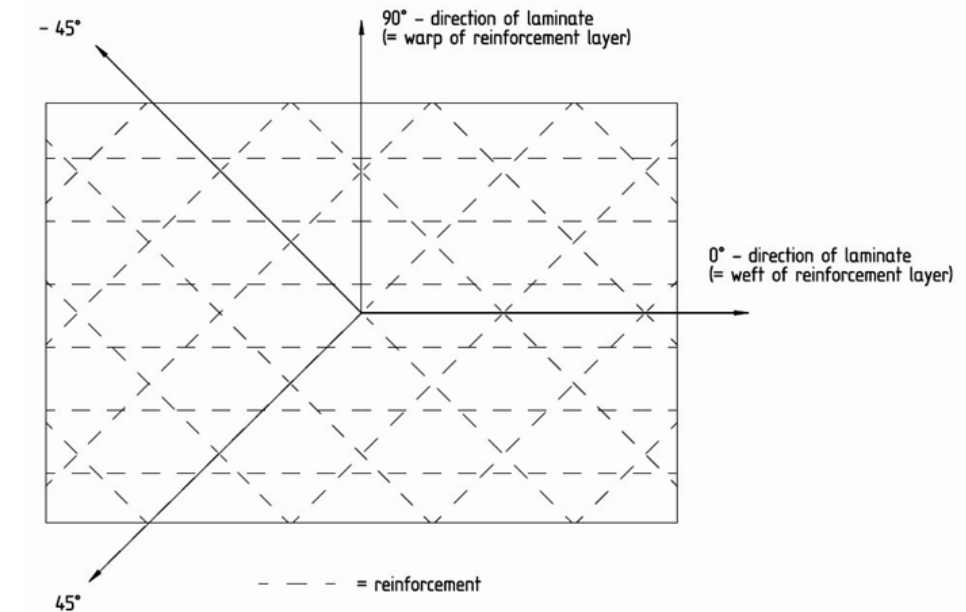
为了确定A1的机械性能，已通过手工铺设玻璃纤维增强材料和A1混合物来制成复合层压板：

玻璃纤维增强：
三轴纤维300，160克 / 平方米
A1混合物：
A1液体和A1粉末（1：2重量比）

层压板的制造没有凝胶涂层（非增强树脂层），也没有任何其他添加剂。层压板作为模具堆放在平坦，光滑的板上。所有增强层都以相同的方向堆叠：

测试(AM)	属性和单位	0°方向 m_x / V_x (%)	90°方向 m_x / V_x (%)
面内张力 (n=8)	电子模量 (MPa)	2312 / 5.3	550 (*) / 8.2
	抗拉强度 (MPa)	57 / 6.4	18 / 6.0
弯曲特性 (n = 16)	电子模量 (MPa)	3726 / 21.3	2984 / 35.5
	抗弯强度 (MPa)	43 / 17.6	32 / 22.7
ILSS (n = 16)	剪切强度 (MPa)	4.5 / 8.2	
横向张力 (n = 20)	抗拉强度 (MPa)	0.8 / 7.4	

设计值	Property and unit	0° direction	90° direction
面内张力	电子模量, 刚度 (MPa)	1228	215 (*)
	电子模量, 全球稳定性 (MPa)	812	142 (*)
	电子模量, 局部稳定性 (MPa)	625	105 (*)
	抗拉强度 (MPa)	29	7
弯曲特性	电子模量, 刚度 (MPa)	1363	477
	电子模量, 全球稳定性 (MPa)	901	315
	电子模量, 局部稳定性 (MPa)	693	233
ILSS	抗弯强度 (MPa)	11	6
	剪切强度 (MPa)	1.50	
横向张力	抗拉强度 (MPa)	0.27	



8. 附录

在初步测试程序中，已经测试了不同的层压板厚度，但是层压板厚度似乎对机械性能没有重大影响。因此，为了确定该设计指南的机械性能，已使用5个增强层制作了测试层压板。如有关层压板结构的章节中所述，这些层压板是通过手动层压而构建的，首先是厚度为0.5至1.0毫米的非增强A1层，然后层压增强层

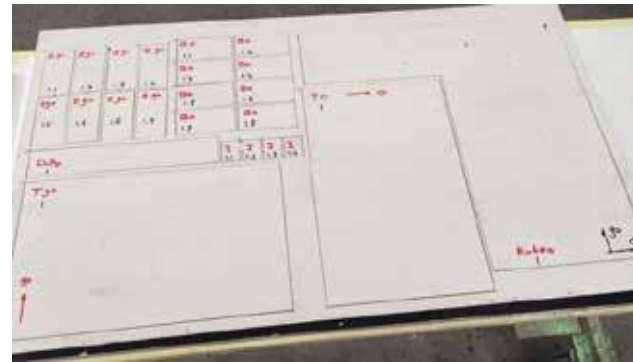
拉伸试验

已经根据ISO 527-4通过测试50×250毫米的条进行了拉伸测试。为了夹紧，在条带的末端上使用了凸耳。以1毫米 / 分钟的速度进行测试直至断裂。已在0°和90°方向上测试了n = 8个样本的集合，并以两种方式进行处理。结果在下表中给出。

(n = 每套8个)	强度		E模量	
	平均值 (MPa)	V.C. (%)	平均值 (MPa)	V.C. (%)
23 °C , 50% RH				
0° - 方向	56.54	6.4	2312	5.3
90° - 方向	18.13	6.0	550 (*)	8.2
20 °C , 86% RH				
0° - 方向	47.36	4.5	2138	9.0
90° - 方向	13.24	4.9	473	6.8

通过这种方式，手工制作了4个层压板放置在尺寸为600 x 1000 毫米的平板上。固化后，将板释放并以两侧均可通风的方式存储，以蒸发层压板中的水分。

通过喷水切割了用于测试的样品，参见从其中一块板切割下来的样品的照片。



在下文中，将描述所执行的测试类型以及结果摘要。SHR提供了有关测试和测试结果详细报告（报告18.0387）。

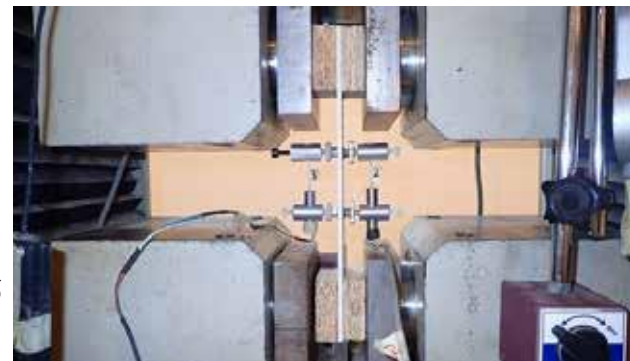
调理

所有样本均已在SHR Research处调理1个月。一半样本在标准实验室条件（23° C，相对湿度50%）下进行调节，另一半样本在相对湿度（20° C，86%相对湿度）下进行。

*) 对于该测试系列，只能使用7个E模量的测量值。

下表中列出了将高湿度条件下的调理结果与标准湿度条件下的调理结果进行比较时的财产损失百分比。

潮湿条件下的特性	测试	与标准情况相比的损失
强度	0°	16 %
	90°	27 %
E模量	0°	8 %
	90°	14 %



8. 附录

弯曲试验

根据ISO 14125，通过在支撑点长度为64 毫米的三点弯曲中测试50 x 100 毫米的条带来执行挠曲测试。结果在下表中给出。

(n = 每套16个)	强度		E模量	
	平均值 (MPa)	V.C. (%)	平均值 (MPa)	V.C. (%)
23 °C , 50% RH				
0° - 方向	43.05	17.6	3726	21.3
90° - 方向	31.97	22.7	2984	35.5
20 °C , 86% RH				
0° - 方向	33.92	15.9	2705	24.8
90° - 方向	20.67	22.4	1700	20.2

下表中列出了将高湿度条件下的调理结果与标准湿度条件下的调理结果进行比较时的财产损失百分比。

潮湿条件下的特性	测试	与标准情况相比的损失
强度	0°	21 %
	90°	35 %
E模量	0°	27 %
	90°	43 %



湿度影响的一般化

考虑到在拉伸试验和弯曲试验中湿度影响的分析，得出以下结论。

显然，在90° 方向的情况下，由于湿度较高而导致的性能损失要比在0° 方向的情况下更高。

此外，抗弯性能比抗拉性能更强。这些结果在以下实用方法中得到了概括。

从标准状态到相对潮湿的状态，在0° 方向上的强度和刚度损失约为25%。这导致0° 特性的转换因子 η_{cM} ，M为0.75

(75%保留率)。

从标准状态到相对潮湿的状态，在90° 方向上的强度和刚度损失约为40%。对于90° 特性（保留率60%），这导致0.60的转换因子 η_{cM}

层间剪切试验 (ILSS)

层间剪切测试已根据ISO 14130通过测试30 x 40 毫米的条带在三点弯曲中以20 毫米的短支撑长度进行了测试。仅测试了在实验室条件下且方向为90° 定向的样品。结果在下表中给出。

(n = 16)	强度(ILSS)	
	平均值 (MPa)	V.C. (%)
23 °C , 50% RH		
90° - 方向	4.53	8.2



8. 附录

层间拉伸试验 (“多莉试验”)

层间拉伸试验是根据所谓的“多莉试验”进行的。这是在四个50 x 300 毫米的测试条上完成的，在上面粘贴了五个金属圆柱体。仅测试了在实验室条件下且方向为90°定向的样品。结果在下表中给出。

(n = 20)	强度 (层间张力)	
	平均值 (MPa)	V.C. (%)
23 °C, 50% RH		
90° - 方向	0.81	7.4



C. 文学

欧洲规范 - 结构设计基础

EN 1990: 2001/A1:2005

欧洲规范-结构行动

EN 1991: 2002-2006

CUR 96建议的书本‘Vezelversterkte kunststoffen in bouwkundige en civieltechnische toepassingen.

第二版本 2017, CROW, CRW AA96: 2017

Acrylic One的户外耐久性

TNO-rapport MT-RAP-2008-02326-v2/rie (2008)

根据EN 13501对防火性能的反应分类

Efectis-报告: 2006-CVB-R0565 (2006)

Duurzaamheid van Acrylic One gevelbekleding

SHR-rapport 15.0175-1 (2016)

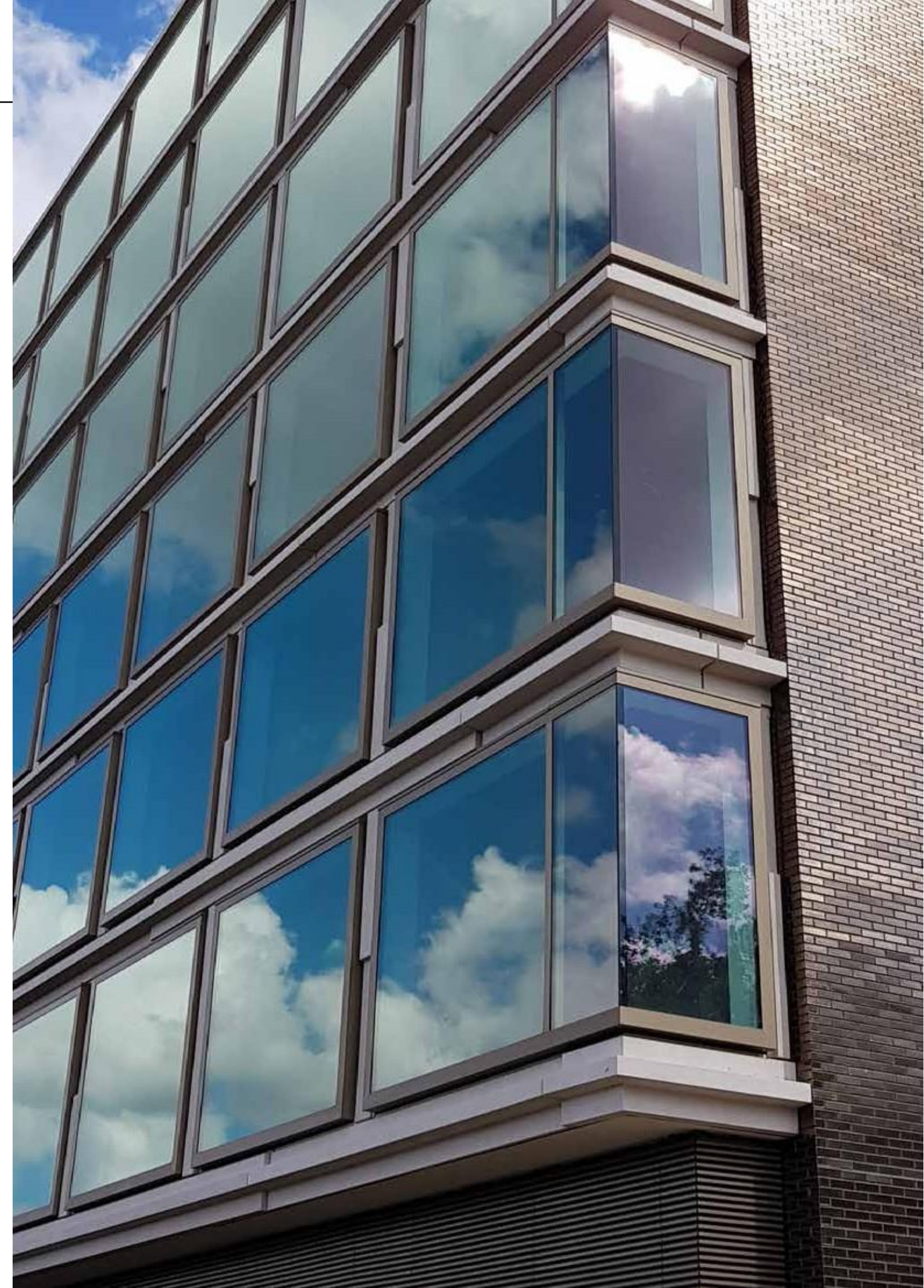
根据EN 13501-1对防火性能的反应分类:

2007+A1:2009

Efectis 报告: 2017-Efectis-R000322 (2017)

Acrylic One层压板的机械性能

SHR report 18.0387 (2018)



本用户手册中的信息被认为是准确的。
用户需要确定产品对用户希望应用的适用性。如有疑问，用户需要进行测试以确定产品的适用性。



ACTIVE COMPOSITE TECHNOLOGIES

Nijverheidsweg 15A | 3251 LP Stellendam | The Netherlands

T: +31-187-663006 | **M:** +31-6-51612714

电邮: info@activecomposite.com | **W:** www.activecomposite.com