

BERICHT DER ERWEITERTEN WISSENSBASIS

Hauptoutput des Projekts O.T1.4

ŠTUDIJA PRIDOBLENIH ZNANJ

Hauptoutput des Projekts O.T1.4

Inhalt

1	PROJEKTBSCHREIBUNG	1
1.1	Projektteam.....	1
1.2	Projektoutputs.....	2
2	DAS STAF-PANEEL	3
2.1	Zustandsanalyse (IHB)	3
2.1.1	Ausgangspunkt	3
2.1.2	Entwicklungsansatz	4
2.1.3	Konzept STAF-Paneel.....	4
2.1.4	Bautechnische Anforderungen.....	6
2.2	Untersuchungen auf dem Prüfstand (IWT/IHB)	8
2.3	Numerische Analysen	14
2.3.1	Strömungs- und Wärmeverhalten IWT	14
2.3.2	Optimierung des Produktionsprozesses.....	24
2.3.3	Integration in bestehende Heizsysteme (Talum/Studie Uni Maribor).....	35
2.3.4	Gebäudesimulation	37
2.3.5	Hygrothermisches Verhalten.....	39
2.4	Vorschläge zur Fassadenintegration von STAF-Paneelen – Hochbaudetails (IHB)	42
2.5	LifeCycle Analysis (Talum/Studie Uni Maribor)	48
2.6	Vorschlag zur Produktverbreitung	49
2.7	Konzeption und Herstellung des Prototyps (IHB).....	51
3	SCHAFFUNG EINES WISSENSNETZWERKES	54
3.1	Die Geschäftstreffen.....	54
	Konzept der Geschäftstreffen:	55
3.2	Das Wissensnetzwerk.....	57
4	KOMMUNIKATION (TIKOPRO UND TU GRAZ).....	58
4.1	Soziale Netzwerke und Webseite (TikoPro)	58
4.2	Pressekonferenzen (TikoPro)	59
4.3	Allgemeine Artikel über das Projekt (TikoPro)	60
4.4	Projektvorstellung an Fachkonferenzen.....	62
4.5	Wissenschaftliche Artikel	62
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	I
	TABELLENVERZEICHNIS.....	IV
	LITERATURVERZEICHNIS	V

1 Projektbeschreibung

Das Projekt ABS Network generierte ein Wissensnetzwerk zwischen Slowenischen und Österreichischen Experten im Bereich effizienter Nutzung der Sonnenenergie und entwickelte ein solarthermisch aktiviertes Fassadenpaneel (STAF-Paneel) zur Energiegewinnung. Dabei war die technologische Innovation das Zusammenführen der Roll-bonding Technologie des Industriepartners Talum d.d. mit dem Wissen über Fassadentechnik an der Technischen Universität Graz. Für die Wissenserweiterung und den Wissensaustausch zwischen den verschiedenen Stakeholdern war das Unternehmen Tiko Pro d.o.o. verantwortlich. Durch den interdisziplinären Ansatz sollten weitere Kooperationen ermöglicht und die Bildung neuer grenzüberschreitender Konsortien gefördert werden.

1.1 Projektteam

Das ABS-Network – Projektteam setzt sich zusammen aus Experten der Technischen Universität Graz, Talum d.d. und Tiko Pro d.o.o. Im Folgenden werden die Projektpartner genauer beschrieben.

Technische Universität Graz

Die Technische Universität Graz kombiniert mit diesem Projekt die Kompetenzen von zwei ihrer größten Fakultäten, nämlich Bauingenieurwesen und Maschinenbau. Das Projektteam der TU Graz besteht aus den folgenden drei Instituten:

- Die Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe „Tools and Forming“ am Institut für **Werkstoffkunde, Fügetechnik und Umformtechnik** liegen im Bereich der Blechumformung und Werkzeugtechnologie. Um eine praxisnahe Forschungsarbeit zu garantieren, orientiert man sich an den speziellen Anforderungen der Industrie.
- Das Institut für **Hochbau** und insbesondere die „Arbeitsgruppe Baukonstruktion und Fassadentechnik“, sieht ihre Kompetenzen und Erfahrungen in den Forschungsbereichen „Concrete Building Envelopes“, „Adaptive Building Envelopes“ sowie „Metal Building Envelopes“.
- Das Institut für **Wärmetechnik** arbeitet mit seiner Arbeitsgruppe „Energieeffiziente Gebäude“ nachhaltige Energiestrategien und Softwarelösungen für die Evaluierung und Optimierung von Gebäuden aus.

Talum d.d.

Der industrielle Partner Talum d.d. ist ein Unternehmen mit langjähriger Tradition in der Fertigung von Primäraluminium und Aluminiumerzeugnissen. Talum d.d. hat zahlreiche Erfahrungen im Bereich der Produktion der Verdampfer für die Kältetechnik mit der Roll-bonding Technologie. Mit dieser Technologie werden Solarkomponenten in den hybriden Photovoltaiksystemen entwickelt und hergestellt. In seinen Entwicklungstätigkeiten arbeitet Talum d.d. mit den Unternehmen in Europa zusammen, die im Bereich der nachhaltigen Entwicklung von Produkten zur Nutzung von Solarenergie tätig sind. Durch die ständige Zusammenarbeit mit den Wissensinstitutionen in der Region und auch außerhalb Sloweniens folgt Talum d.d. den Entwicklungstrends dieser Produkte.

Tiko Pro d.o.o.

Tiko Pro d.o.o. ist ein anerkanntes und erfolgreiches Beratungsunternehmen, das Unternehmen einerseits in der Projektentwicklung von nationalen und EU Projekten und andererseits die Berichterstattung unterstützt. Das Unternehmen hat zahlreiche Referenzen sowohl auf nationaler, als auch internationaler Ebene. Im Rahmen dieser Aktivitäten hat das Unternehmen auch zahlreiche PR und Marketingkampagnen realisiert und zahlreiche verschiedene Events organisiert.

1.2 Projektoutputs

In den vergangenen 26 Monaten hat das Projektteam eine Vielzahl an verschiedenen Aktivitäten durchgeführt um die Projektziele zu erreichen. Im Groben kann man das Projekt in zwei Teilprojekte untergliedern, die Entwicklung des STAF-Paneels und der Aufbau des Wissensnetzwerkes.

STAF-Paneel

Die Entwicklung des STAF-Paneels fing mit der Erstellung des Pflichtenheftes an, um die Spezifikationen des Paneels für das alle Mitglieder des Projektteams deutlich ersichtlich zu machen. Der nächste Schritt war die Konzipierung und das Bauen eines geeigneten Prüfstandes für die Paneele. Zusätzlich zum Testen der Paneele am Prüfstand wurden auch numerische Untersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse aus beiden Testmethoden wurden verglichen um einen idealen Prototypen herstellen zu können. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden in gemeinsamen wissenschaftlichen Arbeiten veröffentlicht.

Wissensnetzwerk

Für die Generierung des Wissensnetzwerkes wurden spezielle Treffen organisiert. Zu diesen so genannten Businessstreffen wurden Vertreter aller zu erreichenden Zielgruppen eingeladen. Um möglichst viele Personen über diese Treffen und dem Netzwerk zu informieren wurden für das Projekt Seiten in sozialen Medien und eine Webpage eingerichtet.

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Arbeitspakete des ABS-Network Projekts wurde in den folgenden Kapiteln dieses Berichtes erstellt.

2 Das STAF-Paneel

2.1 Zustandsanalyse (IHB)

Die Gestaltung der Fassade als hocheffiziente Tragkonstruktion durch neue Methoden der Umform- und Fügetechnik sowie die Integration gebäudetechnischer Systeme birgt eine Vielzahl von Herausforderungen, denen durch die interdisziplinäre Zusammensetzung des Projektteams begegnet wird. Im Fokus stehen Fassaden für Skelett- und Massivbauten - insbesondere dünnwandige, selbsttragende Fassadenelemente als hybride Konstruktionen auf Grundlage der Leichtbauweisen. Ziel ist einerseits die Erlangung von Erkenntnissen zum solarthermischen Verhalten sandwichartiger Strukturen bei Integration energieumwandelnder Systeme in deren Deckblechen, andererseits die Entwicklung von Konzepten (Leitdetails) für eine hochbautechnische Umsetzung in der Fassade.

2.1.1 Ausgangspunkt

Traditionell sind Sandwichpaneele im Bauwesen - vor allem im Industrie- und Kühlhausbau - millionenfach eingesetzte, kostengünstige, montagefertige Elemente zur Bildung der thermischen Gebäudehülle im Wand- und Dachbereich. Die dabei verwendeten Sandwichkonstruktionen bestehen aus einem Dämmkern, zumeist aus geschäumtem Polyurethan (PU), seltener aus Mineralwolle (MW) oder expandiertem Polystyrol (EPS), und zwei dünnen, metallischen Deckschichten aus Stahl- oder Aluminiumblechen (Abbildung 1).



Abbildung 1: Konventionelles Sandwichpaneele hergestellt von der Fa. Brucha GmbH bestehend aus zwei mikroprofilierten Deckblechen aus Stahl und einem Dämmkern aus Polyurethanschaum.

2.1.2 Entwicklungsansatz

Die teilweise Erschließung o.a. Paneelflächen zur solaren Energiegewinnung an der Außenseite einerseits, sowie die thermische Konditionierung (Heizen oder Kühlen) der Innenräume andererseits, stellt die zentrale Idee des Interreg-Projektes „ABS network“ dar (Abbildung 2). Dabei entspricht die Entwicklung von Lösungen zur Integration energieumwandelnder Systeme in der Gebäudehülle (Stichwort „Solarfassaden“) bei gleichzeitiger Berücksichtigung architektonischer Aspekte den aktuellen Trends im modernen Fassadenbau. Durch funktional überzeugende und gestalterisch anspruchsvolle Sandwichfassaden können neben dem klassischen Industriebau auch weitere Anwendungsgebiete, wie z.B. Bürobau, Wohnbau, Schulbau, Gewerbebau etc., erschlossen werden.

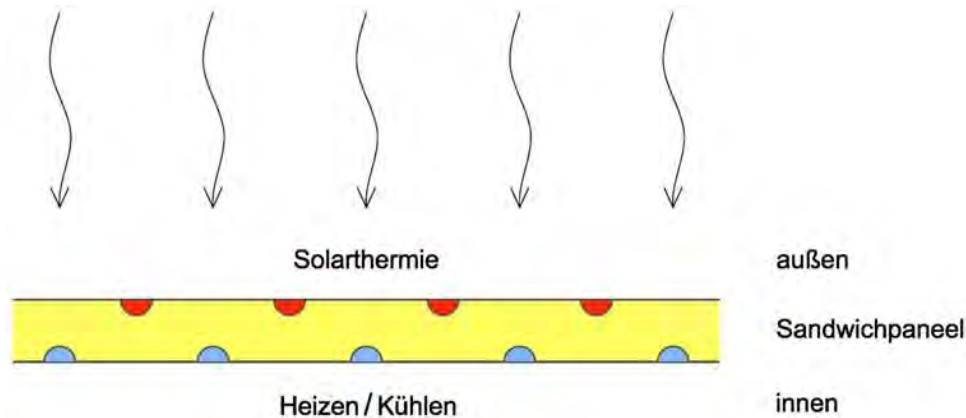


Abbildung 2: Solarthermisch aktiviertes Sandwichpaneel mit Fluidkanälen zur Energieernte an seiner Außenseite und Konditionierung der Innenräume an seiner Innenseite.

2.1.3 Konzept STAF-Paneel

Zum Zweck der energetischen Aktivierung werden die äußeren metallischen Deckschichten eines Sandwichpaneels durch Umformung derart modifiziert, dass sich exakt definierte Hohlräume - sog. Fluidkanäle - ausbilden (Abbildung 3).

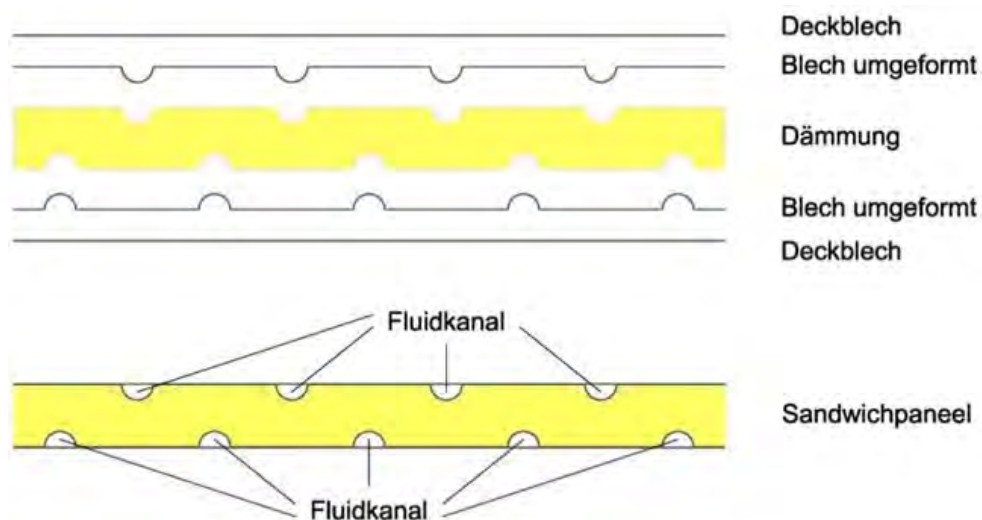


Abbildung 3: Querschnitt des solarthermisch aktivierten Sandwichpaneels (vier Bleche) - jeweils ein ebenes und ein umgeformtes Deckblech bilden die Fluidkanäle aus

Als „state of the art“ ist gegenwärtig die Methode des „Roll-Bonding“ zu bezeichnen - ein spezielles Verfahren der Blechumformung, welches seitens der Fa. Talum d.d. zur Produktion von Verdampfern

für Kühlschränke (Roll-bond Evaporatoren), aber auch zur Herstellung von Absorberplatten für Flachkollektoren eingesetzt wird (Abbildung 4).



Abbildung 4: Umformung durch Roll-Bonding: Roll-bond Absorber der Fa. Savosolar (Finnland) mit FracTherm-Kanalstruktur des Fraunhofer-Institutes für Solare Energiesysteme ISE. [1]

Dabei werden zwei (oder mehr) Bleche durch Walzen unter großem Druck aneinandergefügt. Bereiche, die sich nicht verbinden sollen, werden zuvor mit einem Trennmittel (meist Graphit im Siebdruckverfahren) behandelt. In einem zweiten Produktionsschritt werden die nicht verbundenen Flächen mittels Druckluft „aufgeblasen“, sodass sich die Fluidkanäle in der gewünschten Querschnittsgeometrie und im gewünschten Verlauf über dem sonst ebenen Blech ausbilden können (siehe Abschnitt 2.3.2).

Zur Herstellung eines solarthermisch aktivierten Sandwichpaneels (Abbildung 5) werden in einem letzten Produktionsschritt nunmehr zwei mittels Roll-Bonding hergestellte Absorberplatten aus Aluminium (Deckbleche) mit einem Dämmkern aus Polyurethanschaum oder Mineralwolle in gewünschter Dicke schubfest verklebt. Das auf diese Weise entstandene Bauteil kann - im Gegensatz zu herkömmlichen thermischen Solarkollektoren - nunmehr unmittelbar als Wandbildner eingesetzt werden. Durch die solcherart erreichte Fassadenintegration eines energieumwandelnden Systems (Solarstrahlung in Wärme) werden beim Einsatz des STAF-Paneels aufwendige Unterkonstruktionen, wie sie derzeit bei der Vorwandinstallation von Solarkollektoren erforderlich sind, obsolet.

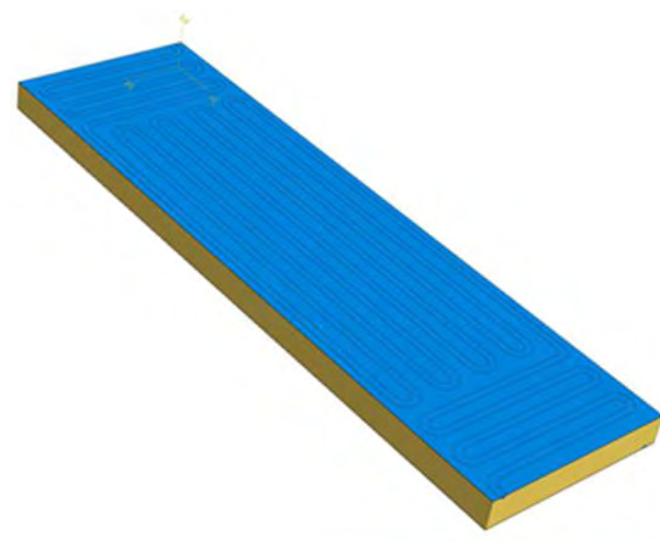


Abbildung 5: Solarthermisch aktiviertes Sandwichpaneel mit mäanderförmigem Fluidkanalverlauf (Rendering).

2.1.4 Bautechnische Anforderungen

Zur Sicherstellung einer gleichbleibend hohen Qualität von Bauwerken - im Falle des STAF-Panels ist hier speziell die Gebäudehülle (Dach und Wand) gemeint - muss eine Vielzahl von Anforderungen erfüllt werden. Diese sind (geordnet nach Priorität) in EU-Verordnungen, EU-Richtlinien, nationalen Gesetzen, europäischen und nationalen Normen sowie technischen Regelwerken (z.B. Fachregeln oder Fachinformationen) festgeschrieben. Darüber hinaus können auch noch spezielle Vereinbarungen als zusätzliche Anforderungen zwischen den Vertragsparteien (z.B. Käufer und Verkäufer) vereinbart werden.

EU-Verordnungen:

Eine EU-Verordnung ist ein Rechtsakt der Europäischen Union mit allgemeiner Gültigkeit und unmittelbarer Wirksamkeit in den Mitgliedstaaten. Im Bereich des Bauwesens ist in diesem Zusammenhang die EU-Bauprodukteverordnung zu nennen, welche EU-weit harmonisierte Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten schafft. Bevor ein Bauprodukt auf dem Markt der EU bereitgestellt wird, muss eine sogenannte "Leistungserklärung" erstellt werden, wenn das Bauprodukt von einer "harmonisierten Norm" erfasst ist oder dafür eine "Europäische Technische Bewertung" ausgestellt wurde.

In der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 [2], bekannt auch unter dem Namen EU-Bauproduktenverordnung, werden im Anhang 1 die Grundanforderungen für Bauwerke (Schutzziele) wie folgt definiert:

Bauwerke müssen als Ganzes und in ihren Teilen für deren Verwendungszweck tauglich sein, wobei insbesondere der Gesundheit und der Sicherheit der während des gesamten Lebenszyklus der Bauwerke involvierten Personen Rechnung zu tragen ist. Bauwerke müssen diese Grundanforderungen an Bauwerke bei normaler Instandhaltung über einen wirtschaftlich angemessenen Zeitraum erfüllen.

- Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
- Brandschutz
- Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
- Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung
- Schallschutz
- Energieeinsparung und Wärmeschutz
- Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen

EU-Richtlinien:

Im Gegensatz zu EU-Verordnungen sind EU-Richtlinien nicht unmittelbar wirksam und verbindlich, sondern sie müssen durch nationale Rechtsakte umgesetzt werden, um wirksam zu werden. Es bleibt den einzelnen Mitgliedstaaten überlassen, wie sie die Richtlinien umsetzen. Sie haben also bei der Umsetzung der Richtlinie einen gewissen Spielraum.

Im Bereich des Bauwesens ist in diesem Zusammenhang die Gebäuderichtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [3] zu nennen, welche die folgenden Anforderungen enthält:

- Festlegung einer Berechnungsmethode
- Mindestanforderungen für neue und bestehende Gebäude und gebäudetechnische Systeme
- Festlegung, dass ab 2020 nur mehr Niedrigstenergiegebäude errichtet werden dürfen
- Kostenoptimum als Schlüsselkriterium
- Vorbildfunktion der öffentlichen Stellen
- Qualifikation der Institutionen, die Ausweise ausstellen und Überprüfungen vornehmen, Einführung eines unabhängigen Kontrollsystems
- Anpassung an den technischen Fortschritt, Sanktionen

Umsetzung in nationalen Gesetzen:

Das Österreichische Institut für Bautechnik hat zur Gebäude Richtlinie 2010/31/EU die OIB-Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz in der Ausgabe von 2015 sowie das OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem Nationalen Plan erarbeitet. Die Umsetzung der EU-Gebäude Richtlinie erfolgte durch Gesetze des Bundes und der Bundesländer. Beispielsweise wurden die OIB-Richtlinien [4] in den jeweiligen Landesbauordnungen für verbindlich erklärt.

Europäische und nationale Normen:

Eine ÖNORM ist eine von Austrian Standards Institute veröffentlichte nationale Norm. Bei ÖNORMEN sind freiwillige Standards, die in Normungsgremien (Komitees) bei Austrian Standards Institute erarbeitet werden. Angeregt wird ihre Entwicklung entweder durch interessierte Kreise, oder sie werden im Rahmen der europäischen und internationalen Normung (z.B. CEN, ISO) als nationale Norm übernommen. ÖNORMEN werden von Austrian Standards Institute herausgegeben.

Hinsichtlich der Planung, Herstellung, Montage und Betrieb des STAF-Paneels sind die folgenden (österreichischen und übernommenen europäischen) Normen und Fachregeln in der jeweils aktuellen Fassung zu beachten:

- ÖN EN 1990: Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung
- ÖN B 1990: Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung - nationale Festlegungen und Ergänzungen
- ÖN EN 1991: Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke
- ÖN B 1991: Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - nationale Festlegungen und Ergänzungen
- ÖN EN 1998: Eurocode 8 - Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben
- ÖN B 1998: Eurocode 8 - Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - nationale Festlegungen und Erläuterungen
- ÖN EN 1999: Eurocode 9 - Berechnung und Bemessung von Aluminiumkonstruktionen
- ÖN B 1999: Eurocode 9 - Berechnung und Bemessung von Aluminiumkonstruktionen - nationale Festlegungen, Erläuterungen und Ergänzungen
- ÖN EN 1090: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken
- ÖN B 2110: Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen - Werkvertragsnorm
- ÖN B 2221: Bauspenglerarbeiten - Werkvertragsnorm
- ÖN B 2225: Metallbauarbeiten, Herstellung von Stahl- und Aluminiumtragwerken sowie Korrosionsschutzarbeiten - Werkvertragsnorm
- ÖN B 2230-1: Maler- und Beschichtungsarbeiten - Teil 1: Beschichtung auf Holz- und Holzwerkstoffe, Metall, Kunststoff, Mauerwerk, Putz, Beton und Leichtbauplatten – Werkvertragsnorm
- ÖN B 3419: Planung und Ausführung von Dacheindeckungen und Wandverkleidungen
- ÖN B 3521-1: Planung und Ausführung von Dacheindeckungen und Wandverkleidungen aus Metall - Teil 1: Bauspenglerarbeiten - handwerklich gefertigt
- ÖN B 6000: Werkmäßig hergestellte Dämmstoffe für den Wärme- und/oder Schallschutz im Hochbau - Produktarten, Leistungsanforderungen und Verwendungsbestimmungen
- ÖN B 8110: Wärmeschutz im Hochbau
- ÖN B 8115: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau
- ÖN DIN 18202: Toleranzen im Hochbau - Bauwerke

- ÖN EN 508: Dachdeckungs- und Wandbekleidungsprodukte aus Metallblech - Spezifikationen für selbsttragende Bedachungsprodukte aus Stahlblech, Aluminiumblech oder nichtrostendem Stahlblech
- ÖN EN 1264: Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung
- ÖN EN 12828: Heizungsanlagen in Gebäuden - Planung von Warmwasser-Heizungsanlagen
- ÖN EN 12975: Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile - Kollektoren
- ÖN EN 13162: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) - Spezifikation
- ÖN EN 13165: Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Polyurethan-Hartschaum (PU) – Spezifikation
- ÖN EN 13501: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten
- ÖN EN 14509: Selbsttragende Sandwich-Elemente mit beidseitigen Metalldeckschichten - Werkmäßig hergestellte Produkte - Spezifikationen
- ÖN EN 14782: Selbsttragende Dachdeckungs- und Wandbekleidungs-elemente für die Innen- und Außenanwendung aus Metallblech - Produktspezifikation und Anforderungen
- Fachregel für Bauspenglerarbeiten Teil 2: Dacheindeckungen und Wandverkleidungen (Wandeindeckungen) aus großformatigen, industriell gefertigten Metallelementen

2.2 Untersuchungen auf dem Prüfstand (IWT/IHB)

Errichtung des Prüfcontainers

Zur Verifizierung der thermischen Simulationen - speziell zur Messung der realen Energiegenerierung des STAF-Panels - wurde der Bau eines Prüfstandes beschlossen. Zu diesem Zwecke wurde ein herkömmlicher Baucontainer (Mannschaftscontainer) bei einem Grazer Bauunternehmen angemietet, zur TU Graz transportiert, auf einem temporären Fundament aus Betonplatten versetzt und zum Prüfcontainer umgerüstet. Durch Herausschneiden von Öffnungen in dessen Längswand (Abbildung 6) konnten insgesamt fünf STAF-Paneele installiert werden, wodurch ein gleichzeitiges Messen von Paneelen mit Absorbern unterschiedlicher Fluidkanalgeometrien ermöglicht wurde.



Abbildung 6: Umrüsten des Baucontainers zum Prüfcontainer - Öffnungen in der Containerlängswand

Zuvor musste das Aufstellen des Prüfcontainers auf dem Gelände der Inffeldgründe der TU Graz bei der Bau- und Anlagenbehörde der Stadt Graz eingereicht und genehmigt werden (Abbildung 7).

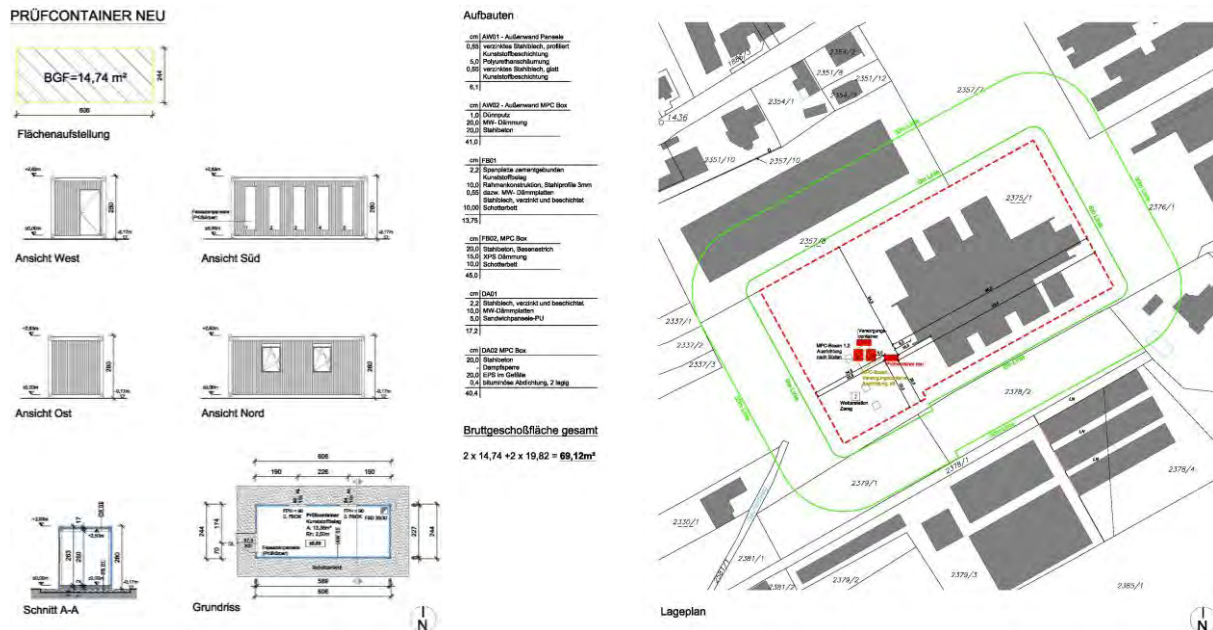


Abbildung 7: Auszug aus dem Einreichplan für den Prüfcontainer

Die Absorberbleche mit den unterschiedlichen Fluidkanalgeometrien wurden vom Aluminiumwerk TALUM d.d. in Kidričevo (Slowenien) mittels Roll-Bonding hergestellt und anschließend in der diskontinuierlichen Fertigungsstraße der Fa. Brucha Ges.m.b.H. in Michelhausen (Niederösterreich) unter Zugabe des Dämmmaterials (Polyurethan) zu STAF-Paneelen aufgeschäumt. Der Einbau der STAF-Paneele in die Aussparungen am Prüfcontainer erfolgte mittels gekanteter Stahlbleche, welche an die Innenseite der Containerwand genietet wurden (Abbildung 8). Die Bauanschlussfugen zwischen den Paneelen (Prüfkörper) und der Containerwand wurden ringsum mit 2-Komponenten-Montageschaum auf Polyurethanbasis von innen verschlossen und an der Außenseite mit einer wind- und schlagregensicheren, jedoch diffusionsoffenen Folie abgeklebt (Abbildung 9).



Abbildung 8: Fixierung der STAF-Paneele an der Innenseite des Prüfcontainers mittels gekanteten Stahlblechen. Zu erkennen ist auch die noch nicht verschlossene, rundumlaufende Bauanschlussfuge.



Abbildung 9: Außenansicht des Prüfcontainers mit 5 eingebauten STAF-Paneeelen (Prüfkörper) jeweils mit umlaufender diffusionsoffener Folie (schwarz). Die Nummern bezeichnen die jeweilige Einbauposition.

Seitens des Projektteams wurden die folgenden vier Fluidkanalgeometrien - jeweils „one-side-inflated“ und mit gleichem Layout für das äußere und innere Deckblech - ausgewählt und gemäß Verlegeplan (vgl. Einbauposition 1 bis 5 in Abbildung 9) am Prüfcontainer installiert (Abbildung 10):

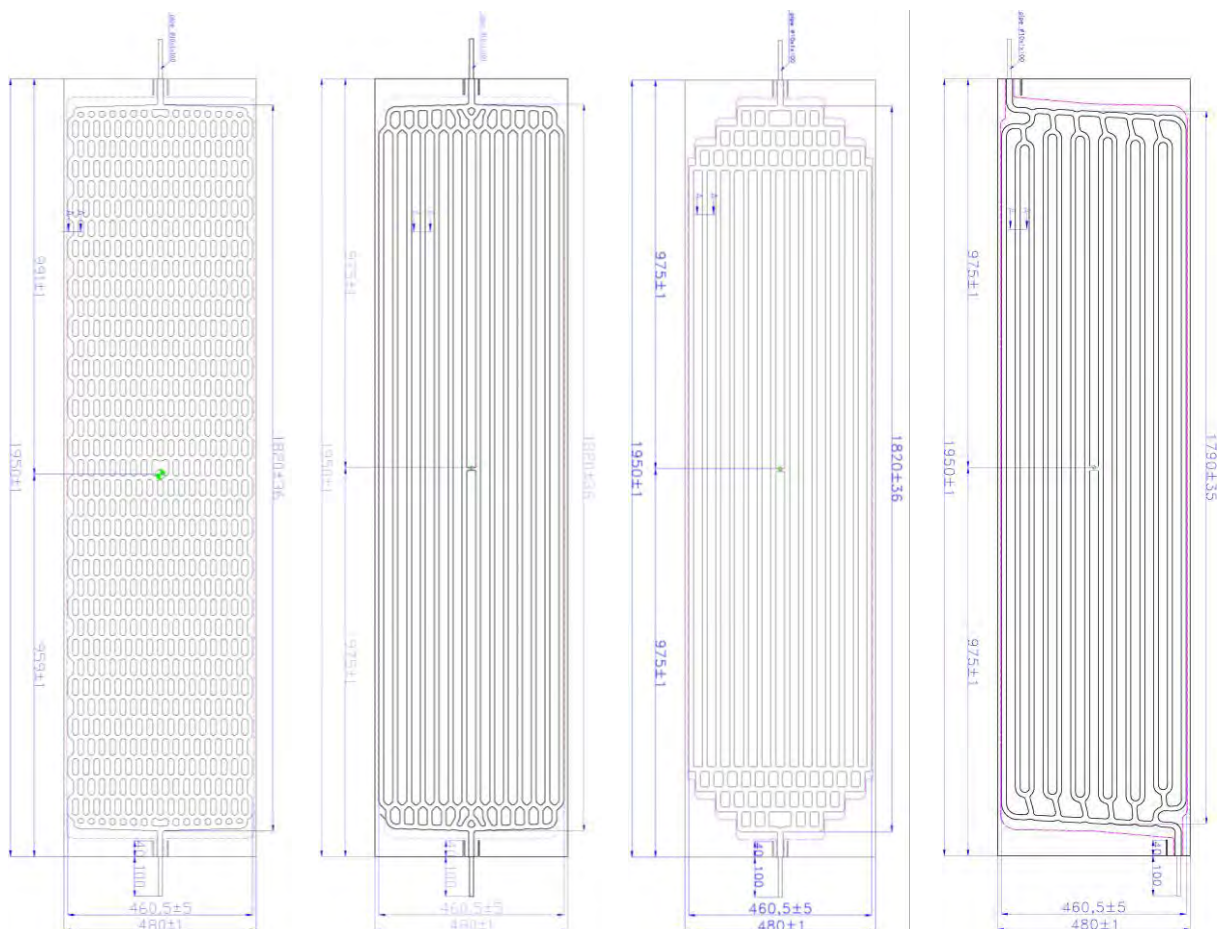


Abbildung 10: Fluidkanalgeometrien (von links nach rechts): Wabe auf Position (1) und (2), Harfe mit 14 Kanälen auf Position (3), Harfe mit 14 Kanälen und gestufter, horizontaler Fluidverteilung auf Position (4), Bionik auf Position (5).

Der Grund für den Einbau zweier baugleicher STAF-Paneele auf Position (1) und (2) liegt in der Tatsache begründet, dass das Paneel auf Position (1) als einziges nicht vom Fluid durchströmt wird, d.h. in seiner Bauweise einem konventionellen Sandwichpaneel entspricht und daher als Referenzpaneel für Vergleichsmessungen direkt herangezogen werden kann.

Im zuvor beschriebenen Versuchscontainer wurden die integrierten STAF Paneele an eine Wärme Quelle/Senke angeschlossen, um diese jeweils mit konstanter Fluidtemperatur und Volumenstrom versorgen zu können. Dies ist notwendig, um die vier STAF Paneel Varianten aus thermischer Sicht besser untereinander vergleichen zu können. Aus kostentechnischen Gründen war es nicht möglich für jedes Paneel einen eigenen Kreis zur Wärme Quelle/Senke zu legen. Deshalb wurden jeweils die Anschlüsse der äußeren und inneren Absorberbleche mittels eines Verteilers zusammengefasst, wie auch in Abbildung 11 gut zu erkennen ist.

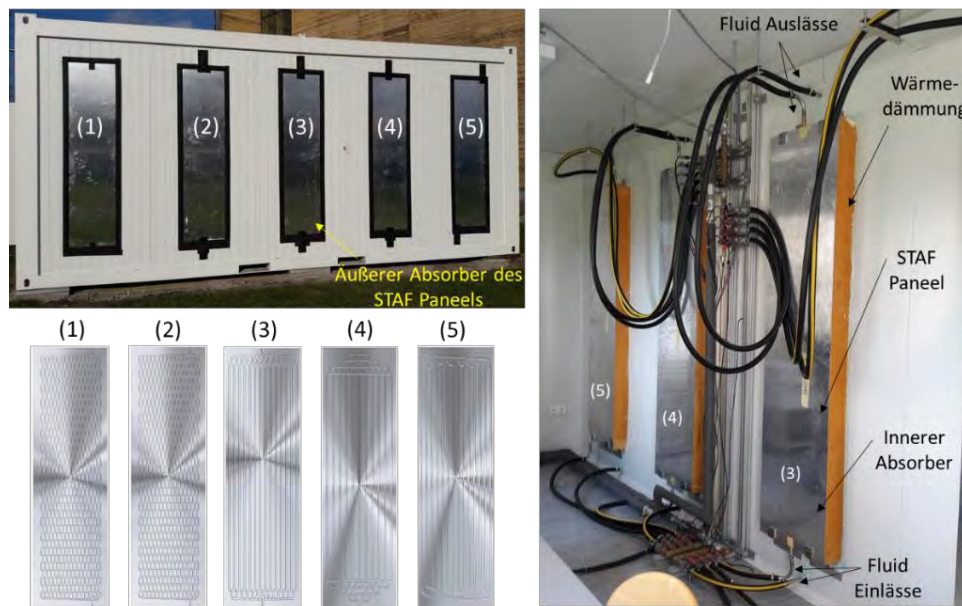


Abbildung 11: Foto des Versuchscontainers an der TU Graz, Schema der eingebauten STAF-Paneel-Varianten und Foto des Containerinneren mit der hydraulischen Anbindung der Paneele zur Rückkühlung bzw. Aufheizung.

Zusätzlich wird in Abbildung 11 die Position und Fluidkanalgeometrie der STAF-Paneele in Form gerenderter 3D CAD-Modelle veranschaulicht. Das Schema des hydraulischen Kreises im Versuchscontainer ist in Abbildung 12, zusammen mit der Beschreibung der Messstellen, dargestellt.

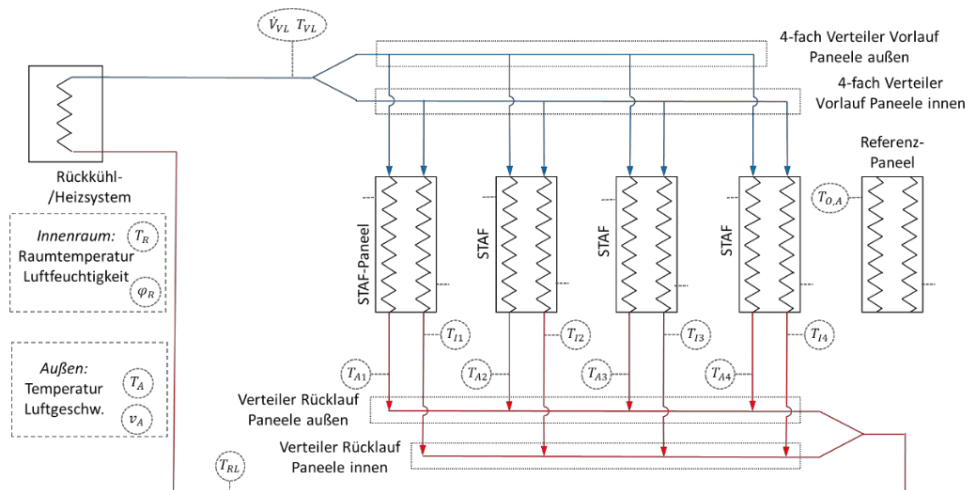


Abbildung 12: Darstellung des Hydraulik- und Messschemas für den Versuchscontainer.

Um einen brauchbaren Vergleich zu erhalten wurde die folgende Messtechnik eingebaut. Eine gemeinsame Datenerfassung (Datenlogger), die über einen Messrechner und der Software Labview die aktuell gemessenen Werte anzeigen und in einem Archiv abspeichern kann. Am Vorlauf vor den Verteilern wurde eine Volumenstrommessung installiert (MID-Prinzip), dieser wurde vor Beginn der Messung mittels „Ausliter-Verfahren“ kalibriert. Weiter wurde je für alle inneren sowie äußeren Absorber die Aufteilung des Volumenstroms ermittelt um später die Wärmeleistung bestimmen zu können. Am Vorlauf wird zudem auch die Fluidtemperatur gemessen die ebenfalls zur Ermittlung der Wärmeleistung notwendig ist. Für jeden Absorber einzeln wird jedenfalls die Rücklauftemperatur gemessen, um Unterschiede in der Aufheizung des Fluids in den Absorbern in der Messung feststellen zu können. Zusätzlich wird am Referenzpaneel (1) die Oberflächentemperatur mitgemessen, um zum einen die Temperatur ohne thermische Aktivierung des Paneels zu messen und zum anderen um eine Referenz für die Temperaturangabe aus den thermografischen Aufnahmen zu verfügen. Im Schnitt lag die gemessene Oberflächentemperatur um etwa 0.5 K über dem Wert, der aus den Aufnahmen ermittelt wurde. In Abbildung 13 ist als Beispiel eine Thermografie Kameraaufnahme vom 5. Juni 2019 um kurz vor 10 Uhr vormittags dargestellt. Es ist ein deutlicher Temperaturunterschied zwischen Referenz (ca. 55 °C) und den thermisch aktivierten Paneelen (zwischen 20 und 30 °C) zu sehen. Außerdem wurden auch noch die Innenraumtemperatur und Feuchte gemessen sowie die Luftströmungsgeschwindigkeit an der Stelle zwischen den STAF Varianten (3) und (4) im Abstand von 10 cm zur Gebäudehülle.

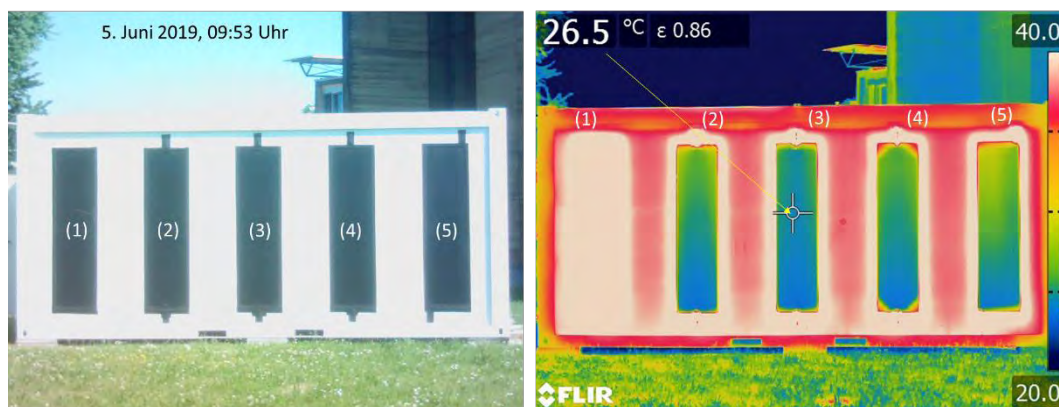


Abbildung 13: Vergleich der Temperaturverteilung zwischen vier STAF Panel Varianten, aufgenommen mit einer Thermografie Kamera.

In Abbildung 14 und Abbildung 15 sind repräsentativ für die Messungen die aufgezeichneten und aus den Messdaten ermittelten Daten im Zeitraum von 01. Bis 21. Mai 2019 abgebildet.

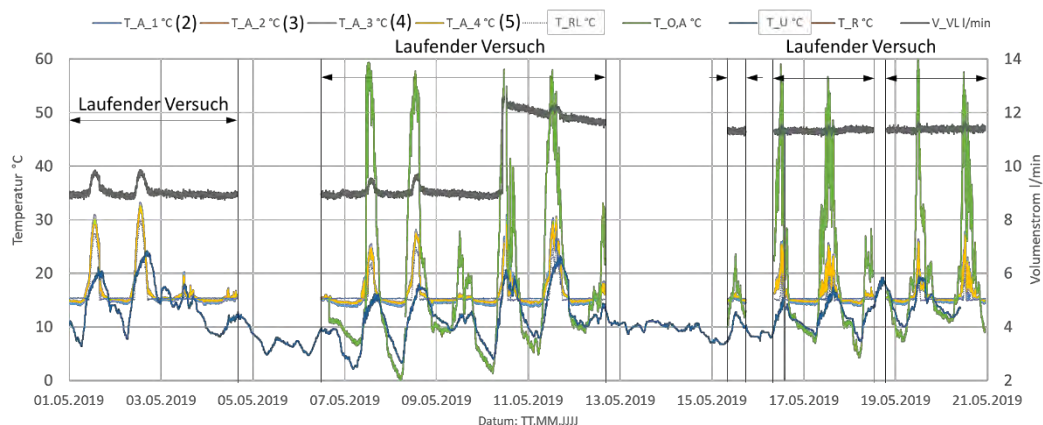


Abbildung 14: Auswertung der gemessenen Fluidaustrittstemperaturen, des Volumenstroms, der Temperatur im Container, der Außentemperatur und der Oberflächentemperatur am Referenzpaneel vom 01.-21.05.2019.

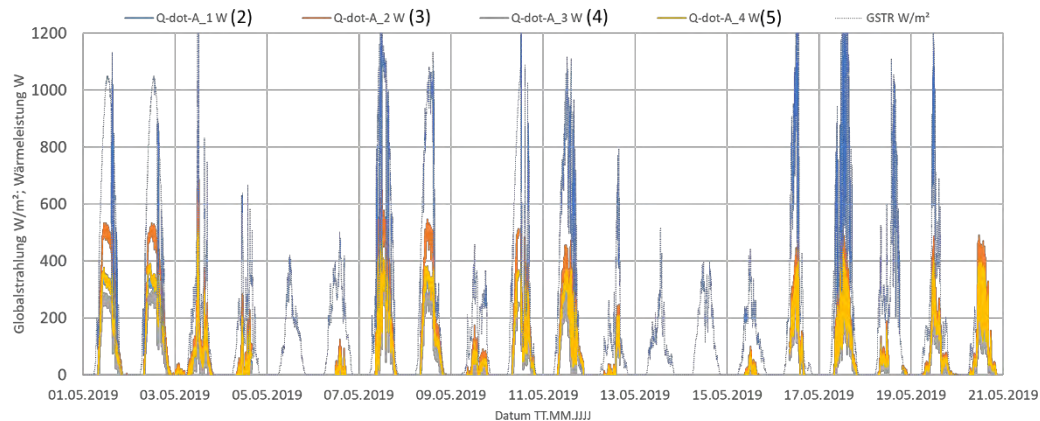


Abbildung 15: Auswertung der gemessenen Wärmeleistung und der Globalstrahlung vom 01.-21.05.2019.

In der Bezeichnung der der Verläufe beschreibt der erste Buchstabe die physikalische Größe. Die Abkürzung „T“ steht für die Temperatur, „V“ für den Volumenstrom des Fluids welches die Kanäle durchströmt, „Q-dot“ für die Wärmeleistung und GSTR steht für die aufgezeichnete Globalstrahlung. Der zweite Buchstabe bezeichnet die Position der Messstelle, „A“ bedeutet die gemessene Rücklauftemperatur des Fluids für die Absorber an der Außenseite des STAF Paneels, „I“ für die innen liegenden Absorber. Die Stelle, an der Temperatur und der Volumenstrom des Fluids gemessen wird, dass anschließend auf die einzelnen Zuleitungen der Absorber aufgeteilt wird, wird mit „VL“ bezeichnet. Die Stelle nachdem das Fluid wieder gesammelt zurückfließt zur Wärmequelle/-senke wird mit „RL“ bezeichnet. Die Messstelle an der die Oberflächentemperatur außen am Referenzpaneel (1) gemessen wird, ist mit der Abkürzung „O,A“ gekennzeichnet. An der dritten Stelle steht gegebenenfalls die Bezeichnung der STAF Paneel Variante wie sie zuvor in Abbildung 11 bezeichnet wurde, ansonsten steht an der letzten Stelle in der Bezeichnung immer die Einheit der jeweiligen Messgröße.

Insgesamt wurden im Zeitraum vom November 2018 bis zum Juni 2019 verschiedene Versuche durchgeführt, in denen entweder innen (zum Heizen bzw. Kühlen) und oder außen zumindest eines der eingebauten STAF Paneele thermisch aktiviert (sprich mit Fluid durchströmt) wurde.

Im folgenden Absatz wird der Vergleich zwischen den verschiedenen STAF Paneel Varianten für zwei aufeinander folgende Tage im Mai präsentiert, wobei alle außenliegenden Absorber zeitgleich vom Fluid durchströmt wurden. Die Verläufe der gemessenen Rücklauftemperaturen sind im Diagramm in Abbildung 16 abgebildet und die daraus ermittelten Verläufe der Wärmeleistungen zusammen mit der gemessenen Globalstrahlung in Abbildung 17 dargestellt. Am ersten der beiden Tage schien den ganzen Tag über durchgehend die Sonne, es gab keine Wolken, an Tag zwei hingegen war es tagsüber beinahe durchgehend bewölkt.

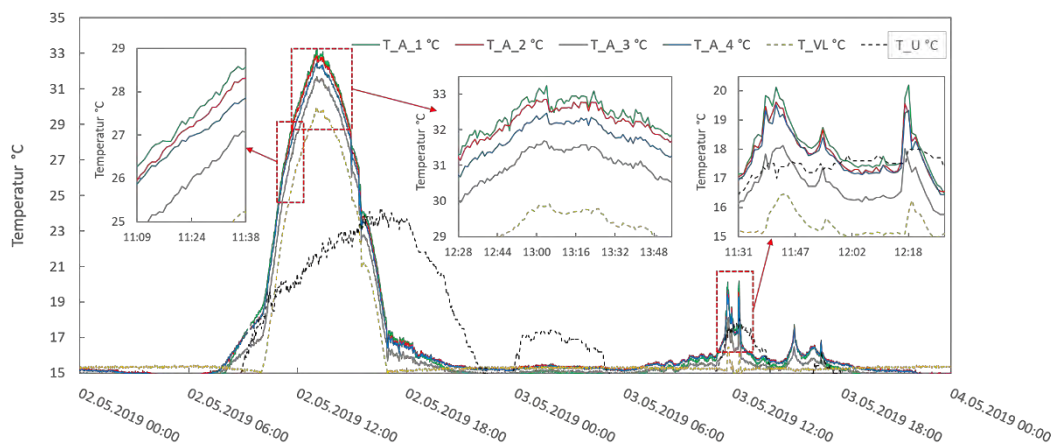


Abbildung 16: Vergleich der gemessenen Fluidaustrittstemperaturen zwischen den vier im Versuchscontainer integrierten STAF Paneel Varianten vom 02.-04.05.2019.

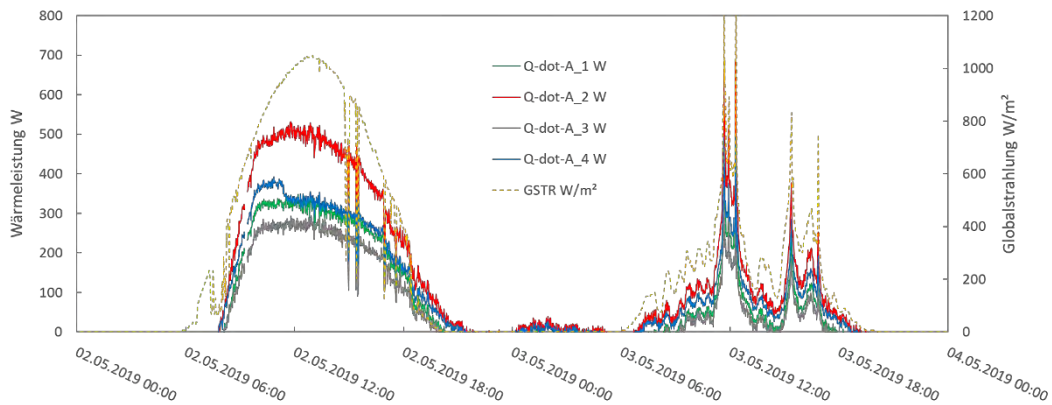


Abbildung 17: Vergleich der gemessenen Wärmeleistung zwischen den vier im Versuchscontainer integrierten STAF Paneel Varianten vom 02.-04.05.2019.

Bei einem eingestellten Volumenstrom von ca. 8.8 l/min wurde das Fluid um bis zu 6 K aufgeheizt. Durch die unterschiedlichen Kanalstrukturen der Absorber und den daraus resultierenden Unterschieden in den Druckdifferenzen, wurde nicht jeder Absorber mit der gleichen Menge an Wasser durchströmt, sodass nur ein indirekter Vergleich in Bezug auf die Leistungsfähigkeit mittels Messung möglich ist (ein direkter Vergleich wurde mittels numerischer Analyse durchgeführt, siehe Kapitel 2.3.1). Im Verteiler teilt sich das Fluid auf wobei 18,3 % davon durch den äußeren Absorber von STAF Paneel Variante (2), 30,4 % durch Variante (3), 27,6 % durch Variante (4) und 23,7 % durch Variante (5) strömen (Kalibrierdaten).

Im Vergleich der Fluidaustrittstemperaturen schneidet das Paneel (1) mit dem geringsten Durchfluss am besten ab, knapp gefolgt von den Varianten (2) und (4), die niedrigste Fluidaustrittstemperatur ergab sich für STAF Paneel Variante (3). Betrachtet man die aus den Messwerten berechneten Wärmeleistungen schneidet der Absorber der STAF Paneel Variante (2) am besten ab. Danach folgen die Varianten in der Reihenfolge (4), (1) und (3). Auffallend in den Diagrammen ist ein Abfall von Wärmeleistung für Variante (4) im Zeitraum zwischen 11:10 und 11:20. Betrachtet man die gemessene Fluidaustrittstemperatur so fällt auch hier auf, dass die Temperatur vor 11:10 noch etwa im Bereich von Variante (2) liegt, diese jedoch nach 11:20 bereits um ca. 0,2 K darunter liegt. Dies lässt sich durch eine teilweise Verschattung zu diesem Zeitpunkt erklären, da dieses Phänomen an darauffolgenden Tagen zum gleichen Zeitpunkt auftrat. Rein aus der Sicht der Messung betrachtet, schneidet das STAF Paneel mit der Absorber Variante (2) am besten ab, gefolgt von Variante (4).

Um die Unterschiede in Wärmeleistung, Fluidaustrittstemperatur und Druckverlust zwischen den einzelnen Varianten noch genauer zu analysieren sollen in der Folge auch numerische Analysen dieser Varianten aus dem Versuchstand durchgeführt werden.

2.3 Numerische Analysen

2.3.1 Strömungs- und Wärmeverhalten IWT

In diesem Kapitel werden alle für das Projekt relevanten Ergebnisse aus den numerischen Simulationen präsentiert, die im Zuge der Analyse des thermischen Verhalten und der Fluidströmung in den Fluidkanälen der Absorber des STAF Paneels durchgeführt wurden. Für alle Simulation wurde die Software ANSYS Fluent [5] verwendet, dies ist eine Software zur numerischen Beschreibung einer Vielzahl von physikalischen, chemischen, etc. Phänomenen. Damit lässt sich zum Beispiel die Strömung eines Fluids innerhalb einer definierten Zone in Kombination mit Wärme- und Strahlungsverteilung im Detail betrachtet werden. Die als Computational Fluid Dynamics (CFD) bezeichnete Methode basiert auf dem Prinzip der Methode „Finiter Volumen“ welche ein spezielles Berechnungsverfahren zum Lösen numerischer Problemstellungen darstellt. Dafür wird ein zwei- bzw. dreidimensionales geometrisches Modell erstellt, welches anschließend in eine Vielzahl kleiner zusammenhängender Zellen (Kontrollvolumen) zerlegt wird. Für jede einzelne dieser Zellen werden dann in der Simulation

über die zuvor definierten Gleichungsmodelle die entsprechenden physikalischen Größen iterativ ermittelt. In Abbildung 18 ist ein solches in Zellen zerlegt geometrisches Modell als Beispiel dargestellt. Es werden sechs Analysen in diesem Kapitel beschreiben, mit dessen Hilfe das STAF Paneel in Bezug auf das thermische Verhalten und Effizienz ausgelegt, weiterentwickelt und optimiert wurde.

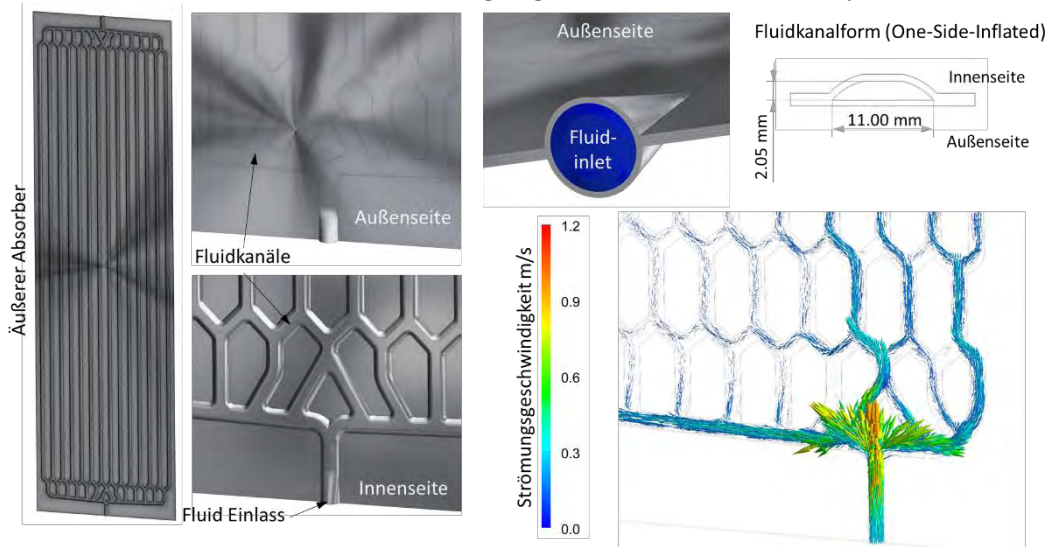


Abbildung 18: Darstellung des CFD Berechnungsnetz eines Absorberbleches, wie es in den STAF Paneelen verwendet wird.

Bezüglich des Einflusses der Kanalquerschnittsform und des Abstands zwischen den einzelnen Kanälen wurde gleich zu Beginn des Projekts eine CFD Analyse durchgeführt. In dieser Analyse wurde ein Ausschnitt des Absorberbleches von 1,5 x 1,0 m betrachtet (siehe Abbildung 19). In der Simulation musste man dafür jeweils nur einen Kanal modellieren und die jeweilige Strömungsgeschwindigkeit als Randbedingung einsetzen, ausgehend vom gleichen Massenstrom und unter Berücksichtigung der entsprechenden Anzahl von Fluidkanälen die auf 1 m Blechbreite jeweils Platz finden. Aus einer Studie des abgeschlossenen Forschungsprojektes UNAB [6] geht hervor, dass ein sogenannter Wellenrohrquerschnitt sehr gut für die Übertragung der Solaren Energieeinträge auf das Fluid im Absorber geeignet ist.

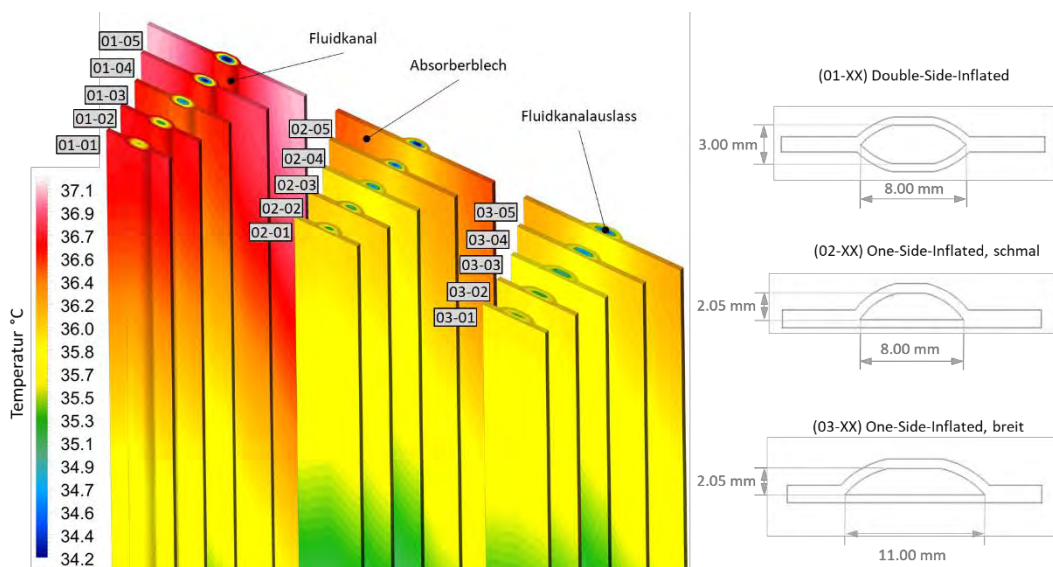


Abbildung 19: Darstellung der Temperaturkonturen aus der CFD Analyse des Einflusses des Querschnitts und des Kanalabstands auf die Fluidaustrittstemperatur.

Die Querschnitte der Fluidkanäle der Absorberbleche, die von der Firma Talum d.d. [7] hergestellt werden, weisen eine sehr ähnliche Form auf. Deshalb wurden im ersten Schritt auch die drei

signifikantesten Querschnitte aus dem Repertoire von Talum ausgewählt und einer wärmetechnischen Analyse unterzogen. In der Analyse wurde eine Solare Strahlung von 600 W/m^2 vertikal auf das Absorberblech und eine Außentemperatur von 30 °C angenommen. Die Wassereintrittstemperatur wurde mit 20 °C angenommen bei einem über die Fluidkanäle aufsummierten Massenstrom in der Höhe von 50 kg/h . Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 1: : Ergebnisse der Wärmetechnischen Analyse der Fluidkanalquerschnitte von Talum d. d.

Querschnitts- bezeichnung	Fluidkanal- abstand	Anzahl der Fluidkanäle auf Absorber mit 1,5 x 1,0 m	Wasseraus- tritts- temperatur	Temperatur- differenz zwischen Ein- und Auslass	Strömungs- geschwindigkeit im Fluidkanal	Maximale Temperatur am Absorber	Mittlere Temperatur am Absorber	Druckdiffere- nz zwischen Ein- und Auslass
	mm	-	°C	K	m/s	°C	°C	Pa
01-01	20	49	36,1	16,1	0,0157988	36,7	29,0	44
01-02	25	39	35,9	15,9	0,0198497	36,7	29,1	55
01-03	30	32	35,6	15,6	0,0241919	36,6	29,1	68
01-04	40	24	35,4	15,4	0,0322558	36,9	29,4	91
01-05	50	19	35,2	15,2	0,0407442	37,1	29,6	114
02-01	20	49	35,6	15,6	0,0239287	36,1	29,1	131
02-02	25	39	35,5	15,5	0,0300643	36,1	29,3	165
02-03	30	32	35,3	15,3	0,0366409	36,0	29,3	201
02-04	40	24	35,2	15,2	0,0488545	36,3	29,7	267
02-05	50	19	35,0	15,0	0,0617110	36,5	30,0	339
03-01	20	49	35,7	15,7	0,0165872	36,0	29,7	83
03-02	25	39	35,6	15,6	0,0208403	36,0	29,8	105
03-03	30	32	35,4	15,4	0,0253991	35,9	29,9	128
03-04	40	24	35,3	15,3	0,0338655	36,1	30,3	170
03-05	50	19	35,1	15,1	0,0427775	36,3	30,7	215
03-06	70	13	34,4	14,4	0,0625210	36,4	30,1	315
03-07	90	10	34,1	14,1	0,0812772	37,0	31,5	411
03-08	110	8	33,6	13,6	0,1015966	37,6	30,8	514
03-09	130	6	32,2	12,2	0,1354621	37,5	31,8	687

Die Auswertung ergab, dass die Wasseraustrittstemperatur mit abnehmendem Fluidkanalabstand zunimmt. Die höchsten Wasseraustrittstemperaturen und geringsten Druckverluste wurden für den Querschnitt 01 (double-side-inflated) erzielt, gefolgt vom Querschnitt 03 (one-side-inflated, breit) und dem Querschnitt 02 (one-side-inflated, schmal). Aus architektonischer Sicht sind jedoch die Auswölbung nach außen unerwünscht, sodass ein one-side-inflated Querschnitt verwendet werden soll, der eine möglichst große Kanalquerschnittsbreite aufweist.

In einer weiteren Studie wurde ein Absorberblech mit den Abmessungen von $1.75 \times 0.5 \text{ m}$ analysiert. In dieser Analyse wurden nochmals die beiden Querschnitte 01 und 03 bei unterschiedlichen Fluidkanalabständen (35 mm und 50 mm) miteinander verglichen. Die Randbedingungen waren dieselben wie zuvor, mit Ausnahme des Massenstroms der auf 6.75 kg/h verringert wurde. Die Ergebnisse sind hier in der Form von Temperaturkonturen in Abbildung 20 und den Wasseraustrittstemperaturen sowie den daraus berechneten Wärmeleistungen in Tabelle 2 präsentiert.

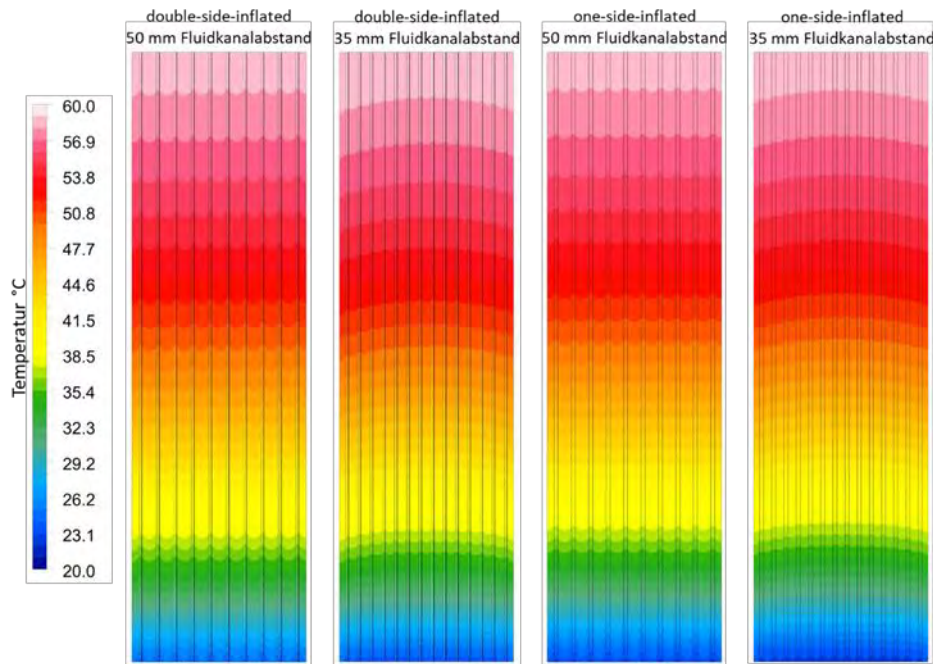


Abbildung 20: Vergleich der Temperaturkonturen am Außenblech eines STAF Paneels von 1,75 x 0,5 m bei unterschiedlichen Fluidkanalquerschnitten und –abständen.

Tabelle 2: Wasseraustrittstemperatur und Wärmeleistung für verschiedene Absorbervarianten mit 1,75 x 0,5 m Abmessung.

Querschnittsform	Double-side-inflated 01	Double-side-inflated 01	One-side-inflated 03	one-side-inflated 03
Fluidkanalabstand	50 mm	35 mm	50 mm	35 mm
Temperatur des Fluids am Austritt	58,2 °C	58,6 °C	58,3 °C	58,5 °C
Wärmeleistung für ein 1,75 x 0,5 m Paneel	316,7 W	319,3 W	317,6 W	318,9 W

Das Fluid wurde in dieser Simulationsvariante fast bis auf 60 °C aufgeheizt, was zur Beladung eines Warmwasserspeichers ausreicht. Der Einfluss des Fluidkanalquerschnitts ist hier sehr gering (0,1 K), die Wassertemperatur ist bei einem Kanalabstand von 35 mm höher als bei 50 mm.

Anschließend an die Analyse für ein 1,75 x 0,5 m STAF Paneel mit vertikalen Fluidkanälen, die nicht zu einem Ein- und Auslass oben und unten am Absorber zusammenführen, wurden unterschiedliche Fluidkanalführungen bei gleicher Querschnittsform einer thermischen Analyse unterzogen. Zu diesem Zweck wurden im Vorfeld fünf verschiedene Varianten entweder ausgewählt oder dafür entworfen, welche in Abbildung 21 dargestellt sind.

Als Randbedingung wurde in der Analyse eine Solare Strahlung bei einem Einstrahlwinkel von 45 °, eine Außentemperatur von 30 °C und der Annahme eines äußeren Wärmeübergangskoeffizienten von 25 W/m²K (entspricht einer Luftströmung von ca. 1 m/s) sowie eine Innenraumtemperatur von 20 °C bei einem Wärmeübergangskoeffizienten von 5 W/m²K angenommen. Weiter wurde die Annahme getroffen, dass Wasser mit einer Temperatur von 15 °C und einem Massenstrom von 50 kg/h in die Kanäle des STAF Paneel Absorbers eintritt. Die Solare Absorptionsfähigkeit der Absorbtoberfläche wurde mit dem Faktor 0,95 definiert (das entspricht der Absorptionsrate einer schwarzen Solarlackbeschichtung).

Die Variante (1), die als „Gitter“ bezeichnet wird, wurde im Zuge der Masterarbeit von Hörtenhuber [8] thermisch vermessen und diente als Validierungsbasis für die CFD Modellierung. Die Validierung, sprich der Vergleich zwischen Messung und Simulation sowie bereits ein Teil der thermischen Analyse bei unterschiedlicher Fluidkanalführung am Absorber ist in der Publikation von Brandl et al. [9] im Detail beschrieben. Die Varianten 2 bis 4 wurden in Zusammenarbeit zwischen IHB und IWT entworfen, die Variante 5 ist eine Idee die von der Entwicklungsabteilung von Talum d. d. stammt. Der Vergleich der Wasseraustrittstemperatur, der Wärmeleistung sowie der Druckverlust zwischen den fünf Varianten ist in Tabelle 3 zusammengefasst.

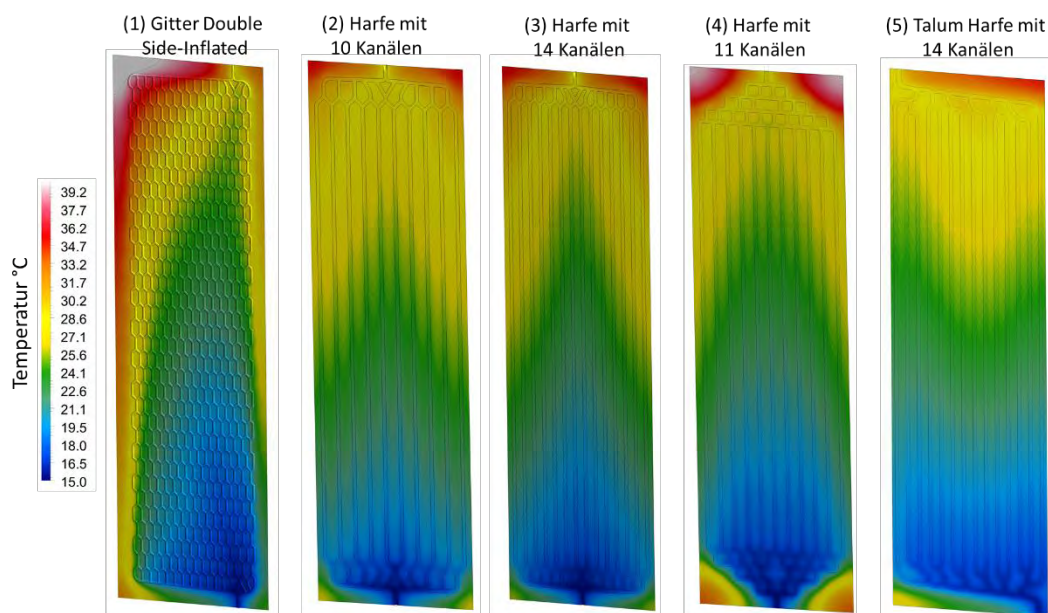


Abbildung 21: Vergleich der Temperaturkonturen an der Absorber Außenseite bei unterschiedlichen Fluidkanal designs.

Tabelle 3: Vergleich der thermischen und strömungstechnischen Parameter bei unterschiedlichen Fluidkanal designs.

		Gitter (1)	Harfe 10 Kanäle (2)	Harfe 14 Kanäle (3)	Harfe 11 Kanäle (4)	Talum 14 Kanäle (5)
		Double-side-inflated	One-side-inflated	One-side-inflated	One-side-inflated	One-side-inflated
Temperatur des Fluids am Austritt	°C	27.8	27.7	27.9	27.4	28.2
Maximal auftretende Temperatur am Paneel	°C	42.8	35.6	35.9	39.7	35.0
Mittlere Temperatur des Außenblechs	°C	25.1	24.4	24	23.9	23.4
Wärmeleistung für ein 1.75 x 0.5 m Paneel	W	744.6	739.9	750.3	719.4	767.1
Druckdifferenz zwischen Ein- und Austritt	Pa	1056.3	1599.5	1423.7	2935.6	3060.4
Druckdifferenz zwischen Ein- und Austritt	bar	0.011	0.016	0.014	0.029	0.031
Mittlere Strömungsgeschwindigkeit	m/s	0.05	0.09	0.07	0.10	0.10
Max. auftretende Strömungsgeschwindigkeit	m/s	1.02	1.16	1.16	1.27	1.00

Die höchste Austrittstemperatur und Wärmeleistung wurde für die Variante Talum (5) erzielt, knapp gefolgt von der Variante (3) mit den 14 vertikalen, parallelen Kanälen. Das heißt es lässt sich schlussfolgern, dass 14 vertikale Kanäle bei einer Absorberbreite von 0,5 m besser geeignet sind als 10 bzw. 11 Kanäle. Ob die Anzahl der Kanäle noch erhöht werden kann wurde noch nicht im Detail überprüft, es wird aber keine große Verbesserung mehr erwartet, da die thermische Beeinflussung zwischen den Kanälen wahrscheinlich zu groß werden würde.

Bei Betrachtung der Druckverluste ist der klare Sieger erwartungsgemäß die Variante (1) mit dem Double-side-inflated Kanalquerschnitt, diese Variante kommt jedoch vorerst aufgrund der architektonischen Anforderungen einer glatten Außenoberfläche nicht in Frage. Danach folgt die Variante (3), knapp gefolgt von Variante (2). Der höchste Druckverlust ergab sich in der Simulation für die beiden Varianten (4) und (5).

Betrachtet man Wärmeleistung und Druckverlust gemeinsam, schneidet die Variante (3) mit den 14 vertikalen Kanälen am besten ab, da sie nur knapp hinter der Wärmeleistung der Variante (5) liegt, der Druckverlust im Vergleich dabei aber nur halb so groß ist. Es muss jedoch erwähnt werden, dass der Druckverlust generell sehr gering ist, sodass die beiden Varianten (3) und (5) sich in etwa gleich gut für den Einsatz in einem STAF Paneel eignen würden.

Im Zuge der Prototypenentwicklung wurde parallel zu den thermischen Analysen eine weitere CFD Studie durchgeführt, um für verschiedene Rohranschlussvarianten für das STAF Paneel den Druckverlust zu berechnen. Modelliert wurde zu diesem Zweck die Rohrverengung (von einem Rohr

mit Kreisprofil und einem Durchmesser von 10 mm) auf das gewählte Talum Rohrprofil (das durch das Roll-Bonding entsteht) am Anschluss sowie die Rohrerweiterung (wieder auf das 10 mm Kreisrohr) nach Verlassen des Paneels (bei 3 verschiedenen Biegeradien des Rohres). Die Varianten sind in Kombination mit der Druckverteilung des Wassers an der inneren Rohrmantelfläche in Abbildung 22 dargestellt. In der Simulation wurde ein Massenstrom von 0,01386 kg/s (ca. 50 l/h) eingestellt, als Fluid wurde dabei Wasser bei verwendet. Verglichen wurde in der Simulation zusätzlich mit einem Rohr ohne Verengung und Erweiterung sowie mit einem Kreisrohr mit einem Durchmesser von 4,67 mm (entspricht dem Rohr bei dem der Querschnitt den gleichen Flächeninhalt wie das Talum Rohrprofil aufweist).

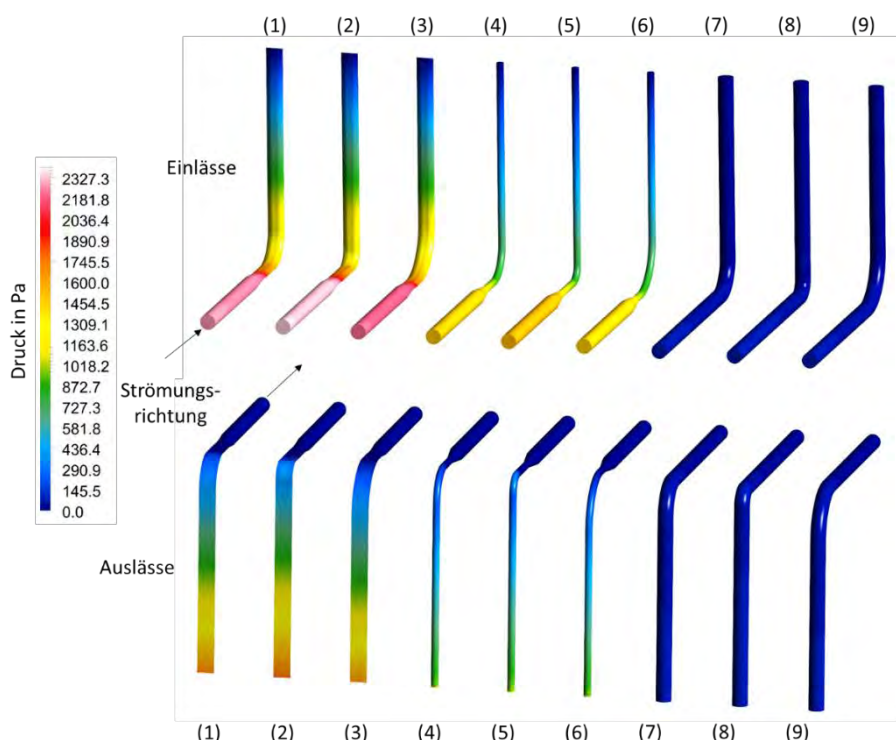


Abbildung 22: Vergleich der Konturen des Wasserdrucks an der Mantelinnenfläche des Rohres.

Fazit aus der Simulation ist, dass zwar durch die Verwendung des Talum Profils im Vergleich zu den Kreisrohrprofilen der Druckverlust deutlich höher ist, dieser jedoch noch weit unter einem für die Beförderung des Mediums durch den Fluidkreis bedenklichen Druckverlustes liegt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Variantenauswertung der Druckdifferenzsimulation

Variante/Beschreibung		Einlässe	Auslässe
		Druckdifferenz in Pa	
1	Talum-one-side-inflated (11 mm), Radius 20 mm	2266	1752
2	Talum-one-side-inflated (11 mm), Radius 10 mm	2334	1831
3	Talum-one-side-inflated (11 mm), Radius 30 mm	2213	1699
4	Kreis (4,67 mm), Radius 20 mm	1491	995
5	Kreis (4,67 mm), Radius 10 mm	1549	1028
6	Kreis (4,67 mm), Radius 30 mm	1457	991
7	Kreis (10,0 mm), Radius 20 mm	66	66
8	Kreis (10,0 mm), Radius 10 mm	71	71
9	Kreis (10,0 mm), Radius 30 mm	64	64
10	Talum-one-side-inflated (11 mm), gerade	1510	-
11	Kreis (4,67 mm), gerade	982	-

Nach den Untersuchungen für STAF Paneele im kleinen Maßstab wurden zwei weitere thermische Analysen durchgeführt, in denen je eine der beiden aus den vorhergehenden thermischen Analyse am

vielvversprechendsten Varianten modelliert wurde für eine STAF Paneel-Dimension von 3,5 x 1,0 m (entspricht insgesamt der 4-fachen Fläche im Vergleich zu der Analyse zuvor).

In der ersten Untersuchung wurde ein 3,5 x 1,0 m STAF Panel mit der Variante Harfe mit 14 vertikalen Kanälen ohne Glasabdeckung betrachtet, dass von einem Wasser/Glykol Gemisch (im Verhältnis von 70/30 in Vol%, um ein Einfrieren des Fluids bei niedrigen Temperaturen zu verhindern) durchströmt wird. Die Simulationmethode ist wieder die gleiche wie zuvor und in [9] beschrieben. Alle relevanten Stoffwerte und Materialdaten sind der Publikation von Avsec et al. [10] enthalten, die im Zuge des ABS-Network SIAT-125 Projekts erarbeitet und veröffentlicht wurde. Das Paneel besteht, da man in der Fertigung von Talum d. d. momentan noch auf eine Größe von 2,0 x 0,5 m limitiert ist, aus vier Absorberblechen von 1,75 x 0,5 m, die miteinander verbunden sind. Das Fluid wird in diesem Fall auf zwei Fluideinlässe (und Auslässe) aufgeteilt und beidseitig gleich durchströmt. Die Temperaturkonturen des Paneels resultierend aus der Analyse der Basisvariante sind in der folgenden Abbildung 23 dargestellt.

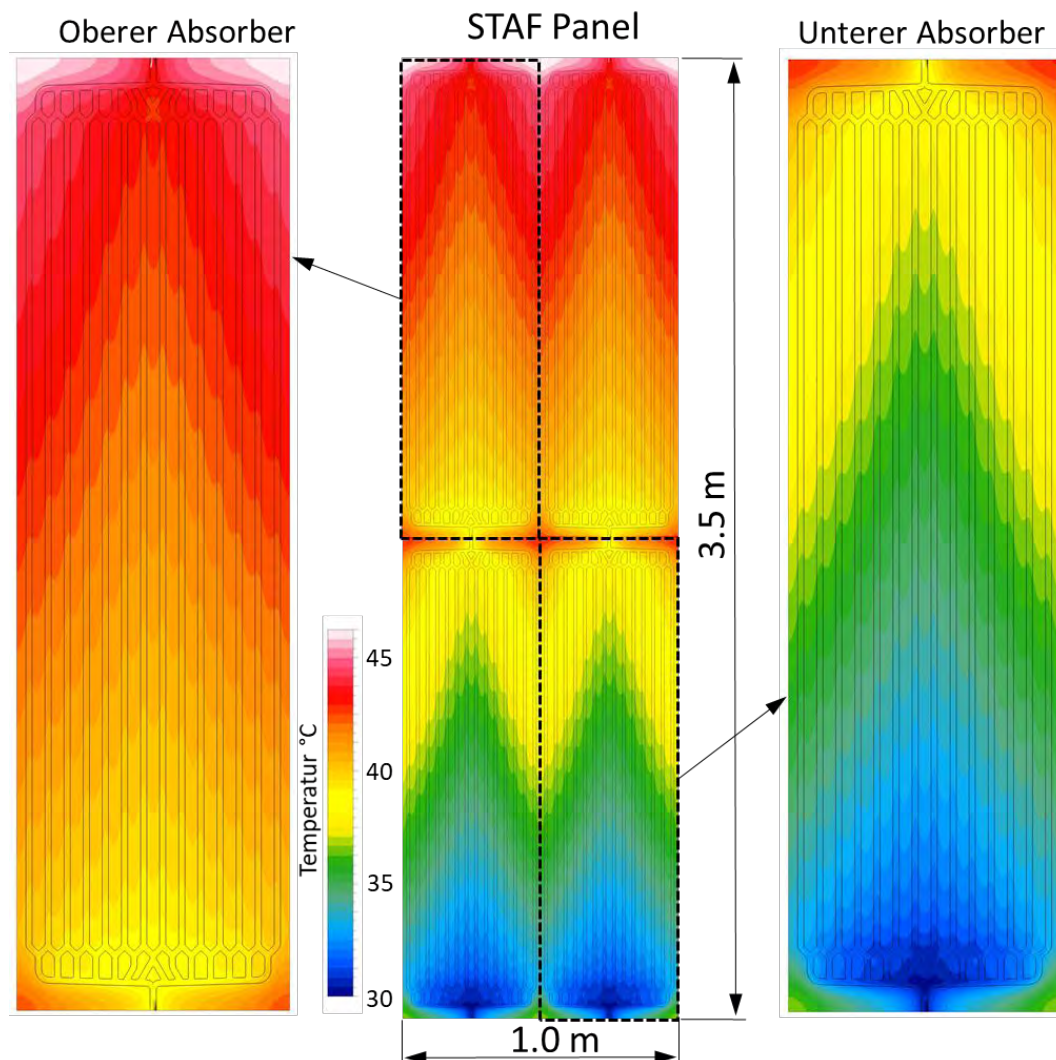


Abbildung 23: Temperaturkonturen aus der simulierten Basis Variante eines 3,5 x 1,0 m STAF Panels mit der 14 Kanal Harfen Fluidkanalführung.

Ausgehend vom Basisszenario mit den Randbedingungen einer Außentemperatur von 30 °C bei einem Wärmeübergangskoeffizienten (WüK) von 25 W/m²K, einer solaren Strahlung von 1000 W/m² und einem Einstrahlwinkel von 45°, einer Innenraumtemperatur von 20 °C bei einem WüK von 5 W/m²K sowie einer Eintrittstemperatur von 30 °C und einem Volumenstrom von 100 l/h pro Fluidkanaleinlass, wurde eine Parameteranalyse durchgeführt. In dieser Analyse wurden Außentemperatur, WüK,

Fluideintrittstemperatur, Volumenstrom sowie Solarstrahlung und Einstrahlwinkel variiert. Die Ergebnisse dazu sind in der folgende Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Ergebnisse aus der Analyse eines 3,5 x 1,0 m STAF Paneels mit der 14 Kanal Harfen Fluidkanalführung.

Variante	Volumenstrom	Außentemperatur	Fluideintrittstemperatur	Fluidaustrittstemperatur	Wärmeleistung	Wirkungsgrad
	l/h	°C	°C	°C	W	-
S-00	100	30	30	43.3	1379.7	0.394
S-01 (Volumenstrom 200 l/h)	200	30	30	38.4	1742.6	0.498
S-02 (Volumenstrom 200 l/h)	50	30	30	48.1	943.0	0.269
S-03 (Außen-/Eintrittstemp. 20 °C)	100	20	20	33.4	1393.3	0.398
S-04 (Außen-/Eintrittstemp. 10 °C)	100	10	10	23.5	1407.8	0.402
S-05 (Außen-/Eintrittstemp. 0 °C)	100	0	0	13.7	1421.3	0.406
S-06 (Außen-/Eintrittstemp. -10 °C)	100	-10	-10	3.8	1436.9	0.411
S-07 (Strahlung 500 W/m²)	100	30	30	36.7	691.4	0.395
S-08 (Fluideintrittstemperatur 20 °C)	100	30	20	39.5	2027.5	0.579
S-09 (Fluideintrittstemperatur 10 °C)	100	30	10	35.7	2670.1	0.763
S-10 (Fluideintrittstemperatur 0 °C)	100	30	0	31.8	3309.5	0.946
S-11 (Fluideintrittstemperatur -10 °C)	100	30	-10	28.0	3945.8	1.127
S-12 (WüK außen 5 W/m²K)	100	30	30	48.2	1892.3	0.541
S-13 (WüK außen 100 W/m²K)	100	30	30	35.9	615.5	0.176
S-14 (Solarer Einstrahlwinkel 65°)	100	30	30	37.9	824.5	0.236
S-15 (Solarer Einstrahlwinkel 20°)	100	30	30	47.6	1829.9	0.523

Aus den Simulationen erhielt man eine maximale Fluidaustrittstemperatur von 48,2 °C (Variante S-12). Die maximale Leistung in der Höhe von 3.95 kW des STAF Paneels erhielt man für Variante S-11 mit der größten Differenz zwischen der in der Simulation eingesetzten Außentemperatur und Fluideintrittstemperatur. Generell kann die Aussage getroffen werden, dass der Wind einen großen Einfluss auf die Aufheizung des Fluids hat. Dies hat eine positive Auswirkung, solange die Umgebungstemperatur höher als die mittlere Absorbertemperatur hat. Das heißt das nicht abgedeckt Panel funktioniert im Sommer bei hohen Außentemperaturen sehr gut, im Winter allerdings kann damit selten bis gar keine Aufheizung des Fluids erreicht werden (dieser Effekt ist in den Ergebnissen der folgenden CFD Analyse zu sehen).

In einer im Zuge des Projekt ABS-Network abschließenden CFD Analyse wurde für die Paneelvariante Talum mit 14 Kanälen ein 3,5 x 1,0 m großes Paneel mit und ohne zusätzlicher Glasabdeckung modelliert. Das Paneel ist, abgesehen von der unterschiedlichen Fluidkanalführung, gleich aufgebaut wie in der Studie zuvor (Abbildung 23), in der Variante mit Glasabdeckung befindet sich außen in einem Abstand von 40 mm eine Glasscheibe vor dem Absorber. Der Luftraum zwischen Absorber und Glas ist seitlich von Aluminiumbelchen umgeben, sodass ein geschlossener Luftraum entsteht, der die Wärmeverluste durch Konvektion wesentlich verringert. Die Ergebnisse aus dieser Analyse werden in Form einer weiteren Publikation von Avsec et al. [11] zum Großteil im Herbst bei der ISES 2019 Konferenz veröffentlicht bzw. präsentiert werden.

Der Vergleich der Temperaturkonturen am äußeren Absorberblech zwischen einem nichtabgedeckten und einem abgedecktem STAF Paneel ist in Abbildung 24 für sommerliche Bedingungen und in Abbildung 25 für winterliche Bedingungen dargestellt, die Randbedingungen dazu sind ebenfalls in den Abbildungen enthalten. Anhand der Temperaturkonturen ist gut erkennbar, dass bei sommerlichen Bedingungen, wenn die Außentemperatur ca. 10 K größer als die Fluideintrittstemperatur ist, die Aufheizung am Absorber annähernd gleich ist (die Wärmeleistung ist für das nicht abgedeckte Paneel minimal höher). Bei winterlichen Bedingungen jedoch ist für das nicht abgedeckte Paneel deutliche eine Abkühlung des Fluids bis zum Austritt des Fluids aus den Kanälen des Absorbers zu beobachten, während in der Variante mit Glasabdeckung das Fluid immerhin noch um 6.6 K erhöht werden konnte.

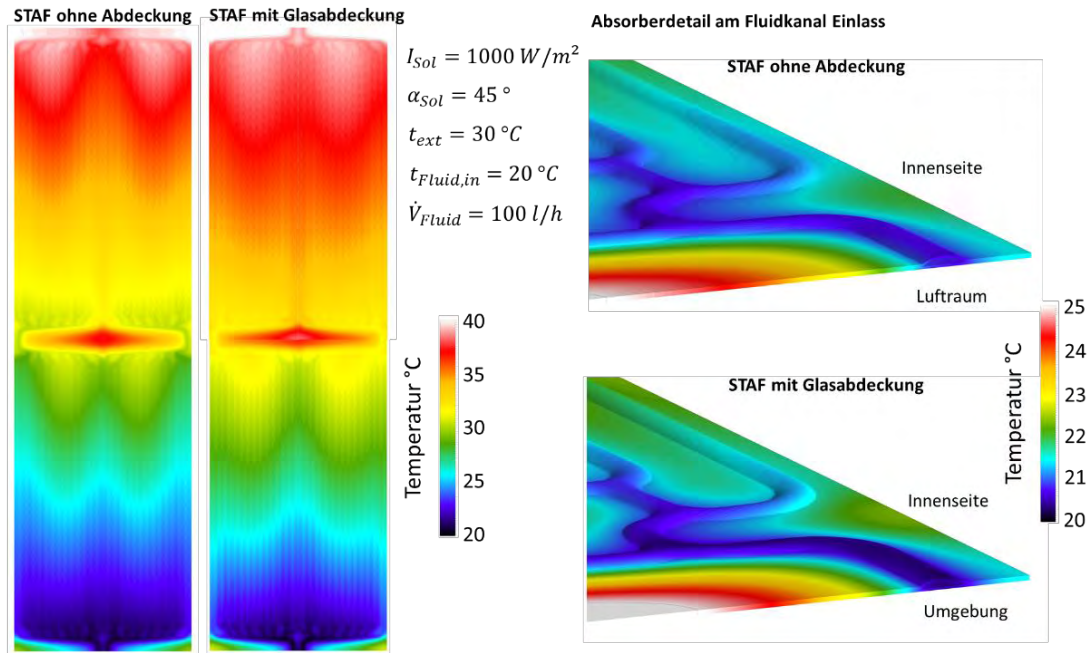


Abbildung 24: Vergleich der Temperaturkonturen am Absorber zwischen abgedecktem und nicht abgedecktem STAF Paneel bei sommerlichen Bedingungen.

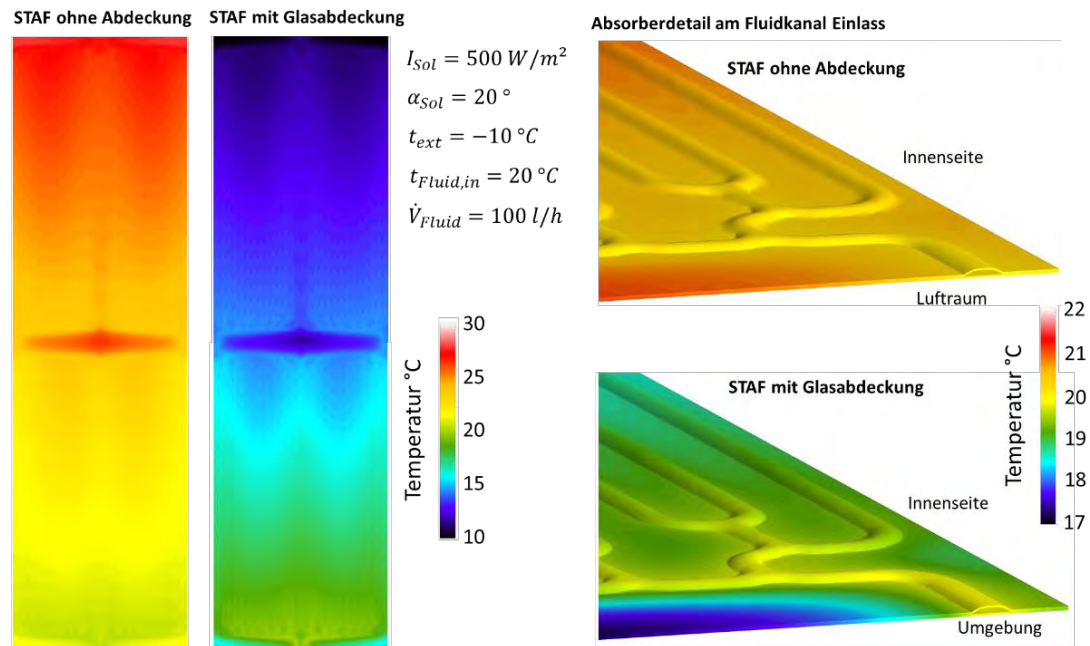


Abbildung 25: Vergleich der Temperaturkonturen am Absorber zwischen abgedecktem und nicht abgedecktem STAF Paneel bei winterlichen Bedingungen.

In der folgenden Tabelle sind alle Ergebnisse inklusive der Randbedingungen aus der Simulation zusammengefasst. Aus diesen Ergebnissen wurden dann in weiterer Folge auch die sogenannten Kollektorkennlinien erstellt, mit dessen Hilfe man vereinfachte (Gleichungsbasierende) Kollektormodelle, wie sie üblicher in der Gebäude- und Anlagensimulation zum Einsatz kommen, mit den notwendigen Informationen versorgen kann, um damit eine dynamische Jahressimulation durchführen zu können (siehe Kapitel 2.3.4). Es wurde für das nichtabgedeckte STAF Paneel mit der Talam Kanalführung je eine Kollektorkennlinie für normale sowie schwache Windverhältnisse erstellt (wegen des starken Wind Einflusses), für das Paneel mit der Glasabdeckung reichte eine Kennlinie vollkommen aus.

Tabelle 6: Ergebnisse aus der Parameteranalyse für ein abgedecktes und nicht abgedecktes STAF Paneel mit 3,5 X 1, 0 m.

Variante	Solare Strahlung	Sonnen-winkel	Wärme-übergangs-koeffizient	Außen-temperatur	Eintritts-temperatur des Fluids	Volumen-strom	Eintritts-temperatur des Fluids	ΔT	Wärme-leistung	Wirkungs-grad
Einheiten	W/m^2	°	W/m^2K	°C	°C	l/h	°C	K	W/m^2	-
STAF- 001	1000	45	25	30	20	100	38.7	18.7	621	0.88
STAF- 002	1000	45	25	30	10	100	34.6	24.6	818	1.16
STAF- 003	1000	45	25	30	30	100	42.7	12.7	422	0.60
STAF- 004	1000	45	25	30	40	100	46.7	6.7	223	0.31
STAF- 005	1000	45	25	30	50	100	50.6	0.6	21	0.03
STAF-006	500	45	25	30	30	100	36.4	6.4	211	0.60
STAF-007	500	45	25	20	30	100	30.5	0.5	17	0.05
STAF-008	1000	45	25	20	30	100	36.9	6.9	229	0.32
STAF-009	500	20	25	-10	20	100	11.4	-8.6	-284	-
STAF-Glas-001	1000	45	25	30	20	100	38.0	18.0	597	0.84
STAF-Glas-002	1000	45	25	30	20	80	42.0	22.0	583	0.82
STAF-Glas-003	1000	45	25	30	20	60	48.2	28.2	560	0.79
STAF-Glas-004	1000	45	25	30	20	50	52.7	32.7	542	0.77
STAF-Glas-005	1000	45	25	10	20	100	34.8	14.8	492	0.70
STAF-Glas-006	1000	45	25	-10	20	100	31.8	11.8	390	0.55
STAF-Glas-007	1000	45	25	30	10	100	29.7	19.7	652	0.92
STAF-Glas-008	1000	45	25	30	40	100	54.4	14.4	478	0.68
STAF-Glas-009	1000	45	25	30	60	100	70.3	10.3	343	0.48
STAF-Glas-010	1000	30	25	30	20	100	42.1	22.1	731	0.84
STAF-Glas-011	1000	60	25	30	20	100	32.3	12.3	407	0.81
STAF-Glas-012	1000	30	25	30	40	100	58.4	18.4	610	0.70
STAF-Glas-013	1000	60	25	30	40	100	48.8	8.8	292	0.58
STAF-Glas-014	1000	45	100	30	20	100	37.7	17.7	586	0.83
STAF-Glas-015	1000	45	5	30	20	100	38.9	18.9	626	0.89
STAF-Glas-016	500	45	25	30	20	100	29.9	9.9	328	0.93
STAF-Glas-017	250	45	25	30	20	100	25.7	5.7	189	1.07
STAF-Glas-018	1000	0	25	30	20	100	45.6	25.6	847	0.85
STAF-Glas-019	1000	45	25	30	80	100	85.8	5.8	192	0.27
STAF-Glas-020	1000	45	25	30	90	100	93.3	3.3	110	0.16
STAF-Glas-021	1000	45	25	30	95	100	97.0	2.0	68	0.10
STAF-Glas-022	500	20	25	-10	20	100	26.6	6.6	220	0.47

In Abbildung 26 sind die Kollektorkennlinien dargestellt und mit den Kennlinien am Markt erhältlicher Solar-Thermischen Kollektoren in Vergleich gestellt, die Daten dafür stammen aus einer Onlinequelle [12].

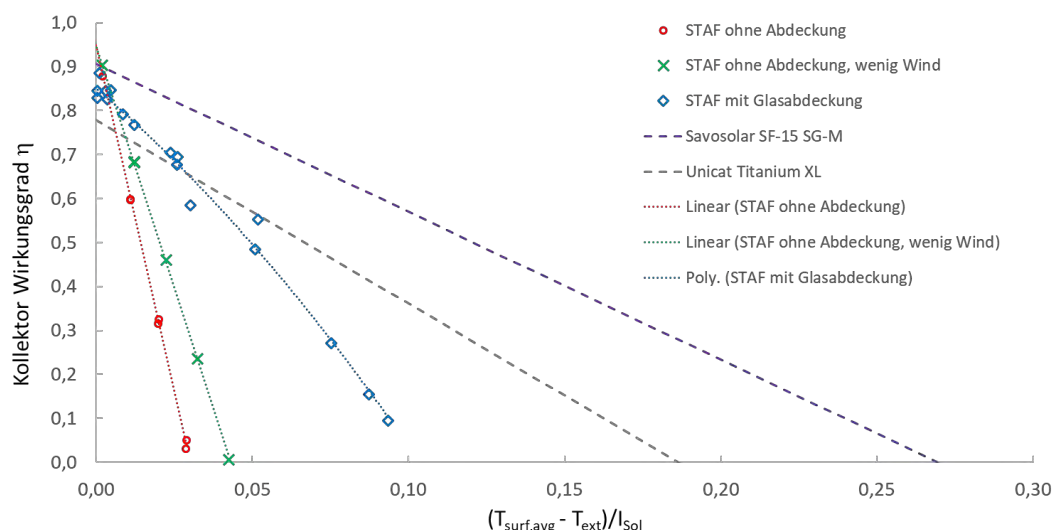


Abbildung 26: Vergleich der STAF Paneel Kollektorkennlinien mit den Kennlinien für am Markt erhältliche Kollektoren.

Bei hohen Außentemperaturen liegt die Effizienz des nicht abgedeckten STAF Paneels sogar über der Effizienz der Marktprodukte, mit der Glasabdeckung liegt man in der Mitte zwischen den beiden Marktprodukten. Der nicht abgedeckte Absorber des STAF Paneels kann bei sinkender Außentemperatur bald nicht mehr mithalten, die Kennlinie für das STAF Paneel mit Glasabdeckung

unterschreitet die des schlechteren Marktproduktes bei einem Achsenwert von 0,03. In der Simulation wurde vorerst eine konventionelle Glasscheibe eingesetzt, zudem waren die Aluminiumseitenbleche nicht gedämmt. Es wurde demnach die Annahme getroffen, dass mit ein paar konstruktiven und materialtechnischen Verbesserungen die Wirkungsgradkurve in der Mitte dieser beiden Kollektorkennlinien gehalten werden kann.

2.3.2 Optimierung des Produktionsprozesses

Das „Rollbonding“ Verfahren ist ein auf Verformung basierendes Festkörperschweißverfahren zur Herstellung von Verbundplatten aus zwei oder mehreren Schichten ähnlicher oder auch unterschiedlicher Bleche [13]. Das Verfahren kann entweder bei Raumtemperatur oder bei erhöhten Temperaturen angewendet werden. Ein Vorwärmen der zu verbindenden Bleche vor dem Walzen erhöht die Duktilität des fertigen Produkts und verbessert ebenso die Verbindung der Bleche [14] [15]. Mit steigender Erwärmung vor dem Walzen sinkt die für den Prozess notwendige mechanische Energie und ebenso die zur Erreichung einer adäquaten Verbindung benötigte Deformation der Bleche [16] [17]. Rollgebondete Aluminiumbleche mit durch Luftdruck aufgeblasener Kühlkanäle werden typischerweise in Gefriergeräten, Kühlschränken, Verdampfern oder Wärmetauschern eingesetzt [13]. Um zu verhindern, dass beim Walzprozess die Bleche im Bereich des späteren Kühlkanals verbunden werden, wird in diesen Bereichen ein Trennmittel (z. B. Graphitpaste) aufgebracht. Dies kann durch ein Siebdruckverfahren auf die Oberfläche des unteren Bleches erreicht werden. Der typische Produktionsprozess zur Herstellung dieser Produkte (z.B. für einen Wärmetauscher) beinhaltet den Siebdruck, das Warmwalz-Rollbonding (siehe Abbildung 27) und ein anschließendes Aufblasen der Kanäle mittels Luftdruck.

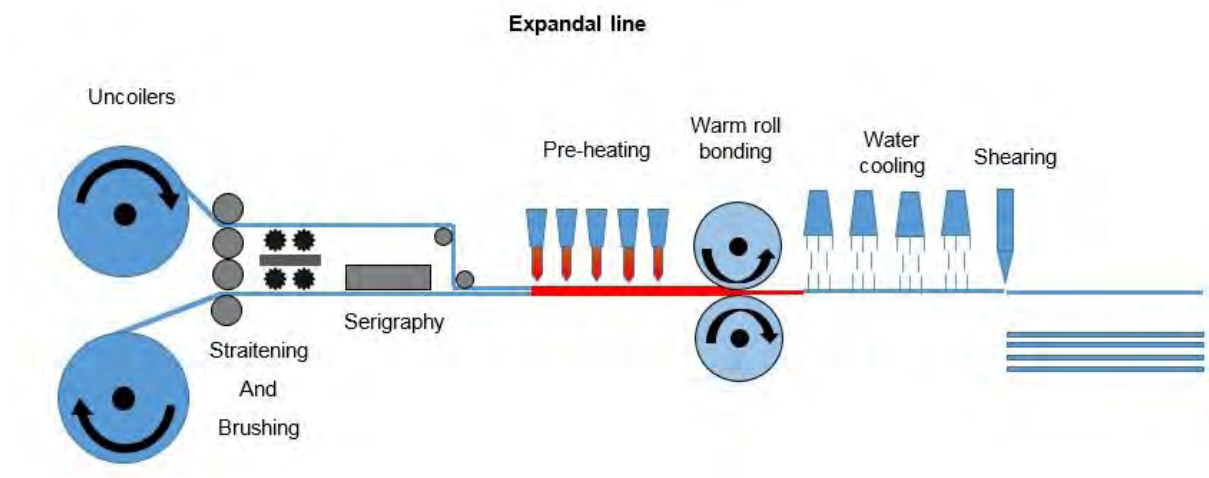


Abbildung 27: Rollbonding Prozess – Siebdruck, Erwärmung, Warm-Walzen, Kühlen und Beschnitt



Abbildung 28: Rollgebondeter Aluminiumabsorber, Gesamtansicht und Detail des Kanalquerschnitts

Die thermischen und hydraulischen Wirkungsgrade der Paneele hängen jedoch wesentlich von der Gestaltung des Kanals und der Geometrie bzw. Form des Kanalquerschnitts ab [18] [19] – siehe Abbildung 28. Das Design der Kanäle beeinflusst aber nicht nur die Effizienz, sondern auch die Herstellbarkeit der Paneele. Ein ungünstiges Design (z. B. zu kleine Radien bzw. Querschnitte der Kanäle) kann dazu führen, dass es durch den wirkenden Luftdruck während des Aufblasens zu einem lokalen Bruch des Kanals kommt. Dies bedeutet einen irreparablen Schaden am Paneel während des Aufblasens der Kanäle. Ein optimales Einstellen der Prozessparameter für das Vermeiden dieses Aufplatzens bei gleichzeitigem Einhalten der geforderten Kanalgeometrie stellt die Kernkompetenz von industriellen Herstellern dieser Paneele dar. Das Finden der optimalen Einstellparameter in der Fertigung erfolgt häufig direkt an der Maschine nach dem Prinzip „Trial & Error“. Um die mit dieser Methodik verbundenen Kosten zu senken, wurde in diesem Projekt ein numerisches Modell aufgebaut, welches das Aufblasen von Kanälen durch Druckluft in rollgebondeten Aluminiumpaneelen abbilden kann.

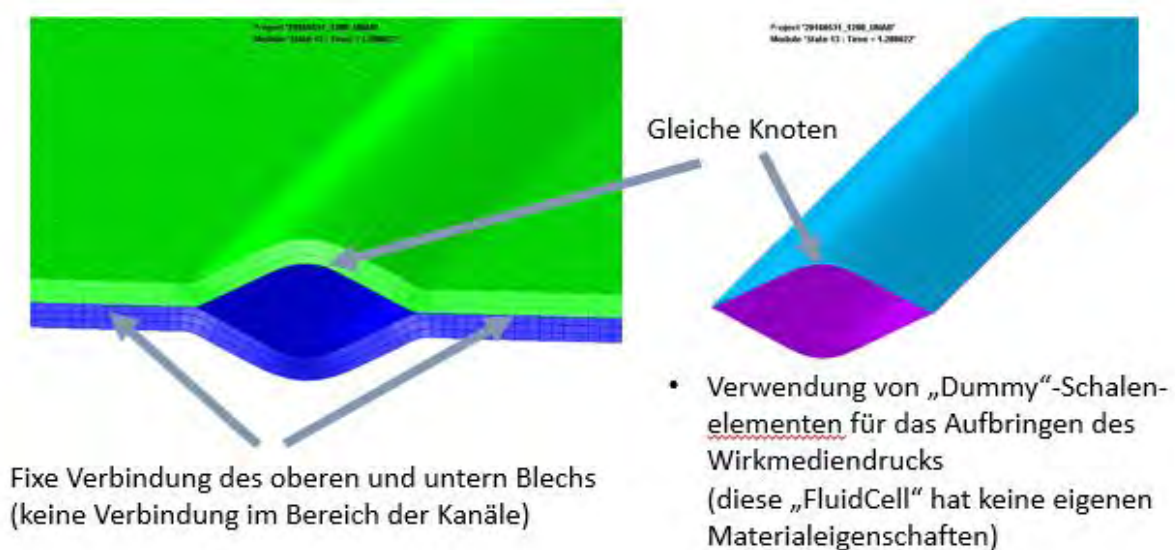


Abbildung 29: PamStamp Simulation von „kleineren“ Strukturen

Zu Beginn des Projekts wurde mit dem „Special-Purpose“ Simulationsprogramm PamStamp2G der Fa. ESI nach eingehender Analyse des Real-Prozesses, unter Verwendung einer vereinfachten Geometrie des Paneels, ein Simulationsmodell entwickelt um das Aufblasen der Kanäle zu berechnen. Schwachpunkt der entwickelten Methodik (= klassische Hydroforming-Simulation) ist, dass der Innendruck im Kanal zeitlich konstant auf die komplette Innenoberfläche wirkt – siehe Abbildung 29. In entsprechenden Optimierungen des Modells konnte zwar der Bereich, auf welchen der Druck wirkt zeitlich abhängig gemacht werden. Dies stellte jedoch ebenso wenig den wirklich physikalisch wirkenden Effekt dar (Stichwort Modell eines „Feuerwehrschauchs“). In der Realität weiß man den „Fortschritt“ des Aufblasens nicht, es wäre immer nötig diesen vorher in der Realität, in welcher Weise auch immer, zu messen.

Nach eingehender Recherche und Kontakt zu mehreren Anbietern von Simulationssoftware-Programmen wurde mit dem „General-Purpose“ Simulationsprogramm LS-DYNA der Fa. LSTC eine vielversprechende Möglichkeit gefunden, geschlossene Körper (z.B. Rohr oder Kühlkanal) mit einem gasförmigen Wirkmedium unter Druck zu „befüllen“. Diese Funktion wird in ähnlicher Weise unter anderem für die Simulation von Airbags genutzt. In weiterer Folge wird beschrieben wie das entwickelte LsDyna-Simulationsmodell im vorliegenden Projekt aufgebaut wurde – siehe Abbildung 30.

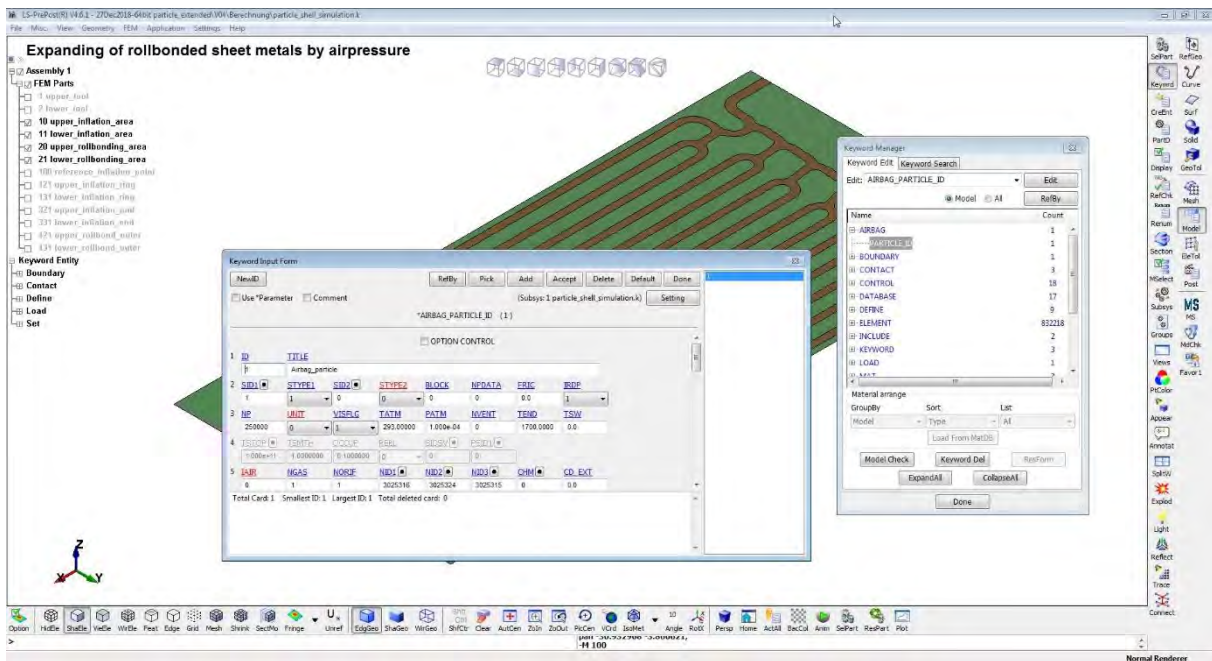


Abbildung 30: Simulationsmodell – Aufblasen von Kühlkanälen rollgebondeter Paneele, LsPrePost/LS-DYNA GUI

Das Modell des simulierten Absorbers hat die Abmessungen von 1000 x 480 x 1,5 mm (0,75 mm + 0,75 mm Blechstärke) und umfasst vier Komponenten: das "weiche" obere Aluminiumlegierungsblech (EN AW-1050), das "harte" untere Aluminiumlegierungsblech (AA-1250), die obere Werkzeugplatte und die untere Werkzeugplatte. Die Werkzeugplatten wurden als starre Körper („rigid bodies“), die Bleche als verformbar definiert. Der Abstand zwischen den Platten beträgt 3,35 mm, was der endgültigen Gesamtdicke des Paneel nach dem Aufblasen der Kanäle entspricht – siehe Abbildung 31. Jedes der beiden Bleche besteht aus einem mit dem gegenüberliegenden Blech verbundenen Rollbonding-Bereich und aus einem Bereich des späteren Kanals (dieser ist nicht mit dem gegenüberliegenden Blech verbunden) – siehe Abbildung 32. Im Bereich des Kanals können sich die Knoten des oberen und unteren Bleches voneinander trennen, im Bereich des Rollbondings sind die Knoten fix und untrennbar miteinander verbunden.

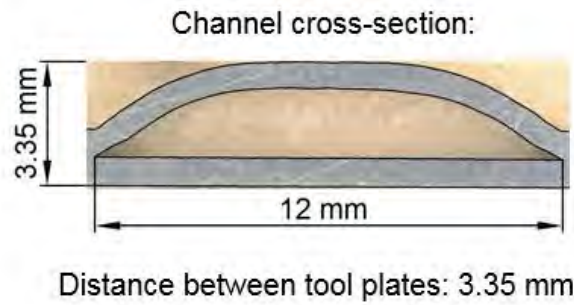


Abbildung 31: Kanalgeometrie in Querschnittsdarstellung

Das vergrößerte Detail in Abbildung 32 zeigt die Position des Einlasses des gasförmigen Wirkmediums (siehe Position und Ausrichtung des Koordinatensystems). Die Region zwischen den Kanälen wurde in ihrer Ausgangsposition gehalten, um die Verformung des unteren Bleches zu minimieren. Das Blech wurde mit viereckigen und dreieckigen Schalelementen, welche für große nichtlineare Verformungen mit fünf Freiheitsgraden (5DOF) definiert sind, vernetzt. Die Schalelemente der Bleche haben fünf Integrationspunkte über der Elementdicke, die Elemente der Werkzeuge haben drei Integrationspunkte.

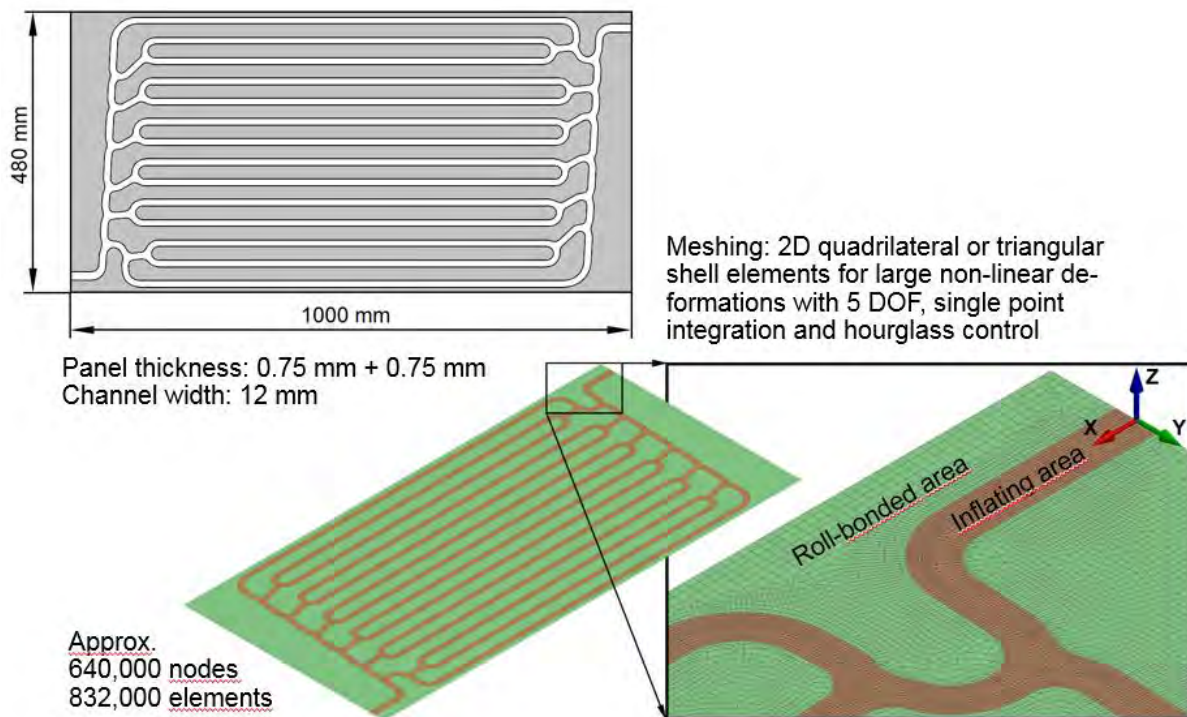


Abbildung 32: Geometrie des simulierten Absorbers, Darstellung der Vernetzung

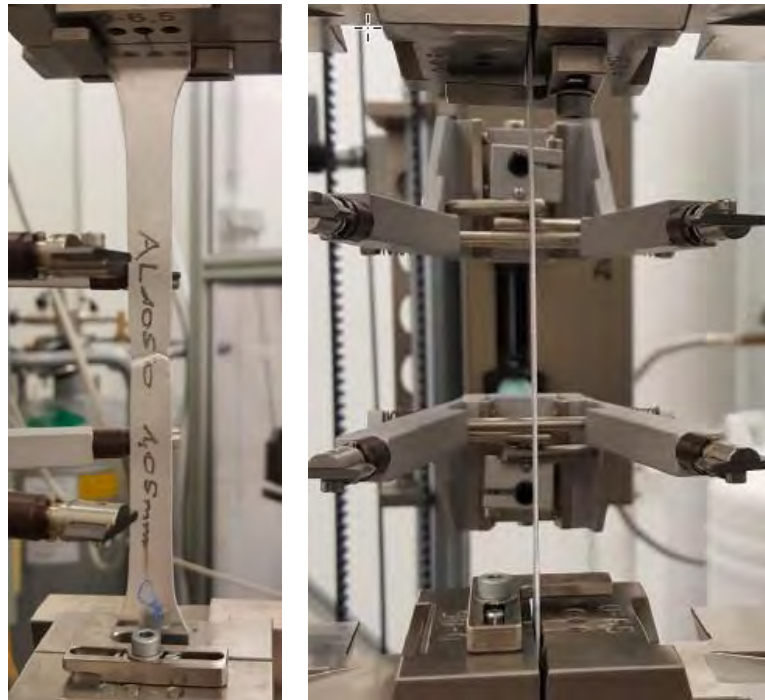


Abbildung 33: Zugversuche für EN AW-1050 und AA-1250

Die elastoplastischen Eigenschaften beider Materialien, EN AW-1050 und AA-1250 wurden durch entsprechende Zugversuche ermittelt (siehe Abbildung 33). Die Proben für den Zugversuch wurden aus speziell gefertigten Platinen herausgearbeitet, welche denselben industriellen Rollbonding-Prozess durchlaufen haben wie das untersuchte Paneel. Basierend auf den Ergebnissen der Zugversuche wurden Fließkurven des Materials für die Richtungen 0°, 45° und 90° zur Walzrichtung mit dem Swift-Modell extrapoliert [20]. Die Fließkurven, physikalischen Kennwerte und Anisotropie-Kennwerte sind in Abbildung 34 dargestellt. Für den Fließort wurde das Modell Barlat-89 herangezogen [21].

Young's modulus	69 GPa
Poisson's number	0.33
Density	2,700 kg/m ³
Anisotropies r_{00} , r_{45} and r_{90} of the EN AW-1XX0 sheet	1.18, 0.40 and 0.60
Anisotropies r_{00} , r_{45} and r_{90} of the AA-1XX0 sheet	0.62, 0.95 and 0.45
Parameter m for FCC materials, e.g. for aluminum	8

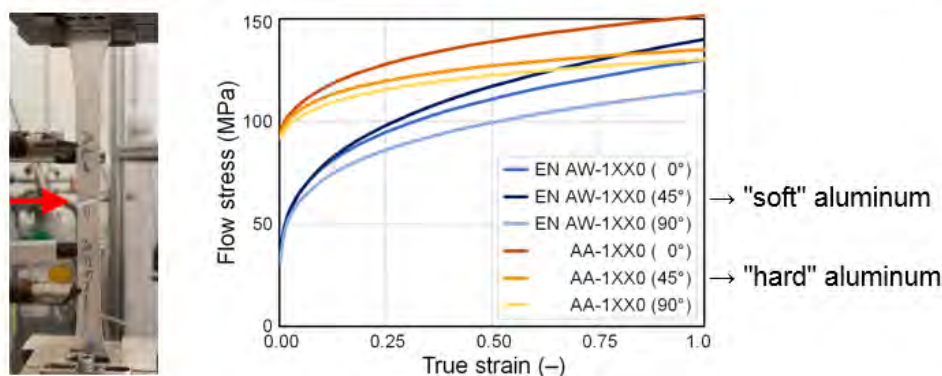


Abbildung 34: Materialkennwerte für EN AW-1050 und AA-1250

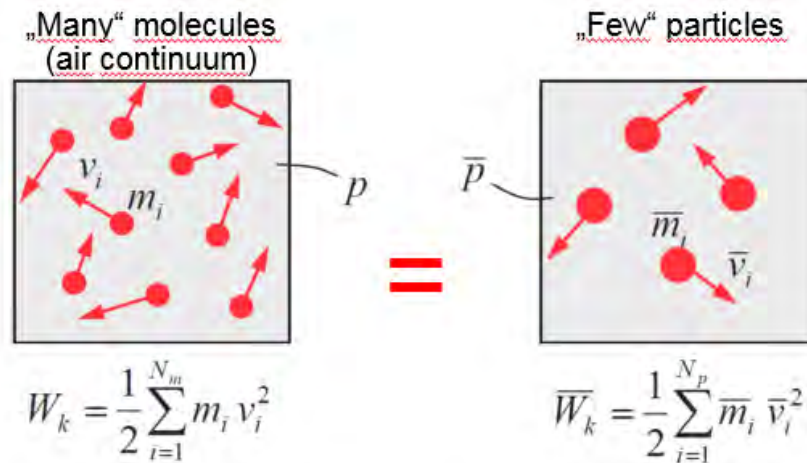


Abbildung 35: CPM - corpuscular particle method

Die in LsDyna implementierte „corpuscular particle method“ (CPM) diente zur Modellierung der Strömung von komprimierter trockener Luft während des Prozesses des Aufblasens. Die CPM-Methode wurde ursprünglich zur Simulation von Airbags entwickelt [22] [23]. Sie basiert auf der „kinetic molecular theory“ und ersetzt den Eulerschen Fluss des gasförmigen Kontinuums mit einer Lagrangen Bewegung von Partikeln mit äquivalenter translatorischer kinetischer Energie. Einfach ausgedrückt wird die Wirkung bzw. Darstellung eines Gases mit seinen unzähligen Molekülen durch „wenige“ Partikel ersetzt, welche in etwa die gleichen Eigenschaften besitzen. Basis für die Berechnung der Eigenschaften des Gases bildet die ideale Gasgleichung.

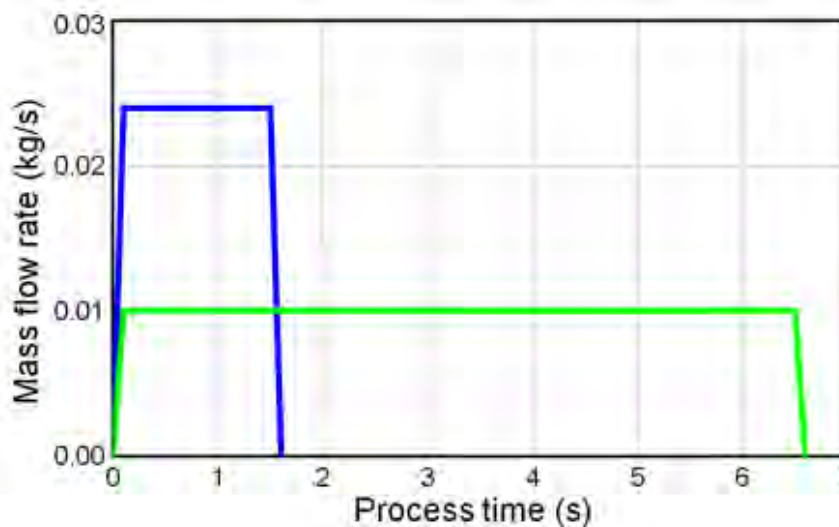


Abbildung 36: Konstanter Massenfluss/Zeit zum Aufblasen der Kühlkanäle an 2 unterschiedlichen Simulationsvarianten

Zur Berechnung unterschiedlicher Varianten der Paneele wurden entsprechende Prozessparameter variiert. In Abbildung 36 und Abbildung 37 sind beispielhaft 2 mögliche Varianten eines Prozesses dargestellt. In Abbildung 36 ist der konstant gewählte Massenfluss/Zeit angegeben, welcher die Ursache für die Drucksteigerung im inneren des Kanals ist und somit zum Ausformen des Kanals führt. In Abbildung 37 sind die Eigenschaften der zum Aufblasen verwendeten trockenen Luft zusammengefasst. Um die Rechenzeit des Modells sinnvoll zu begrenzen wurde eine selektive Massenskalierung für alle Elemente des Simulationsmodells verwendet, welche bei Zeitschritten unter 1.4×10^{-6} Sekunden aktiviert wurde. Der Kontakt zwischen den Blechen und den Werkzeugen wurde über One-Side Surface-to-Surface Contacts realisiert (static friction coefficient = 0.15). Um das außerordentlich große Modell (> 800.000 Elemente) berechnen zu können wurde das Modell am

Berechnungs-Cluster der TU Graz mit einer MPP-Solver Berechnung (Massively Parallel Processing) auf gleichzeitig 20 CPU-Kernen parallel berechnet.

	Variant 1	Variant 2
Total number of particles	250,000	324,000
Maximum mass flow rate for of the fluid (dry air)	0.024 kg/s	0.010 kg/s
Molar mass of the fluid	0.029 kg/mol	
Specific heat capacity of the fluid	28.9 J/mol·K	
Total process time	1.7 s	6.7 s
Atmospheric pressure	1 bar (10^{-4} GPa)	
Atmospheric temperature (= constant process temp.)	293 K (20 °C)	
Coefficient of friction between the components	0.15	

Abbildung 37: Prozessparameter und Materialparameter „trockene Luft“ an 2 unterschiedlichen Simulationsvarianten

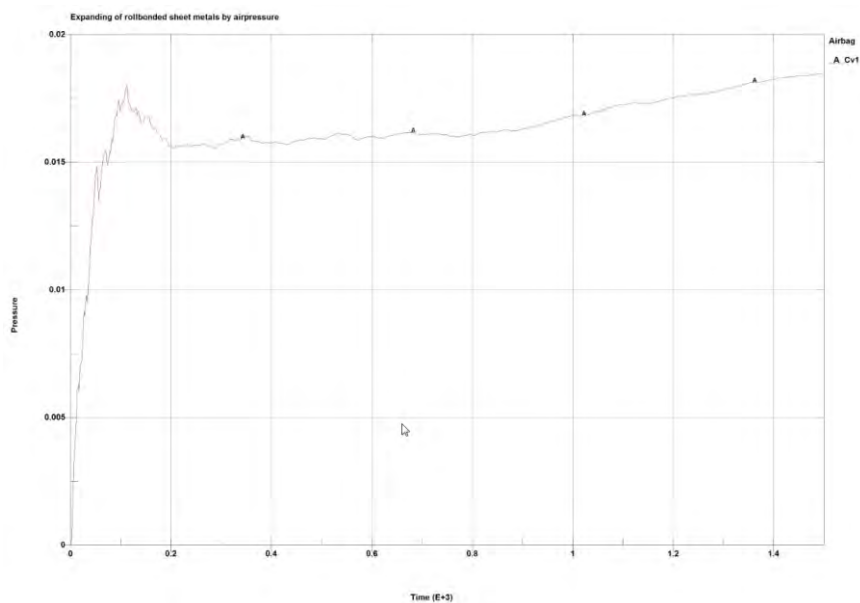


Abbildung 38: Simulationsergebnis wirksamer Innendruck

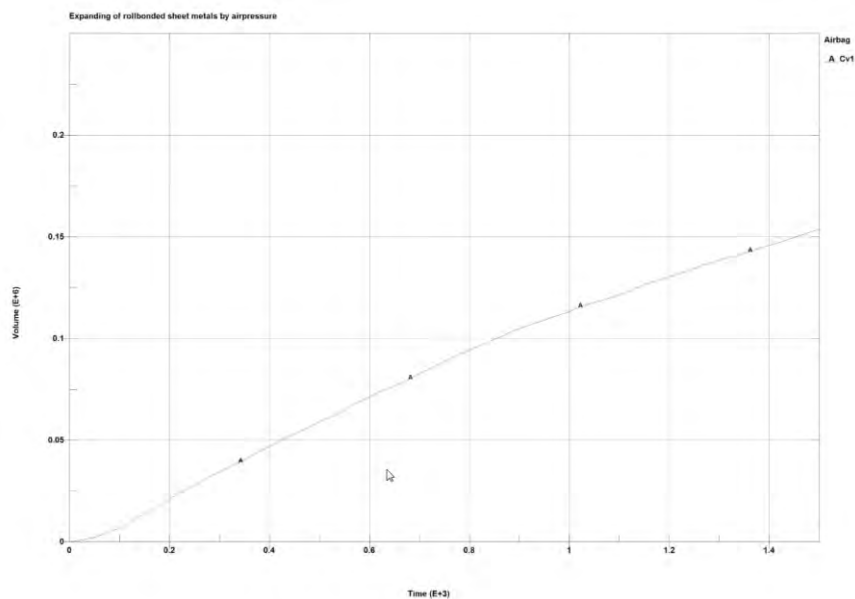


Abbildung 39: Simulationsergebnis Gesamtvolumen aufgeblasener Kanal

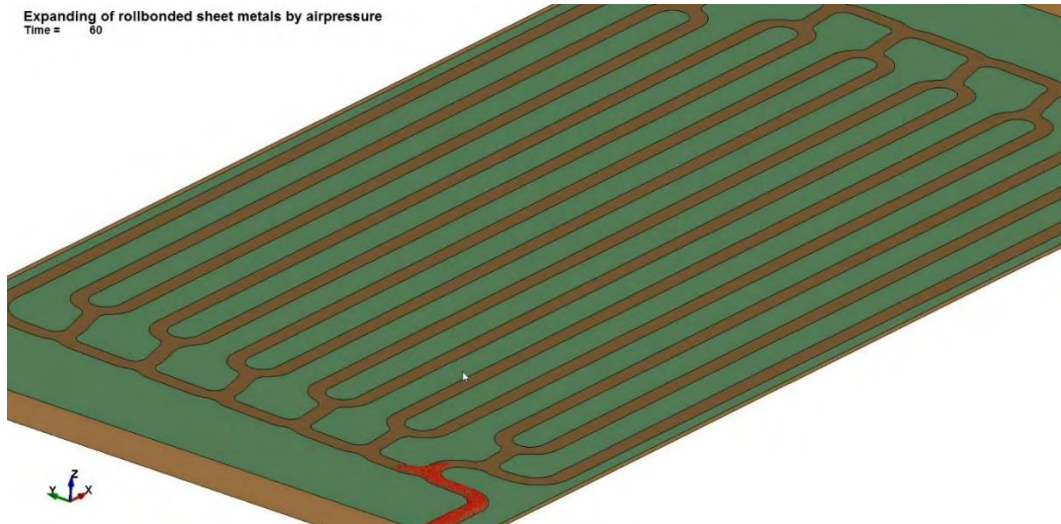


Abbildung 40: Aufblasen Kanal durch gasförmiges Wirkmedium - Animation Beginn

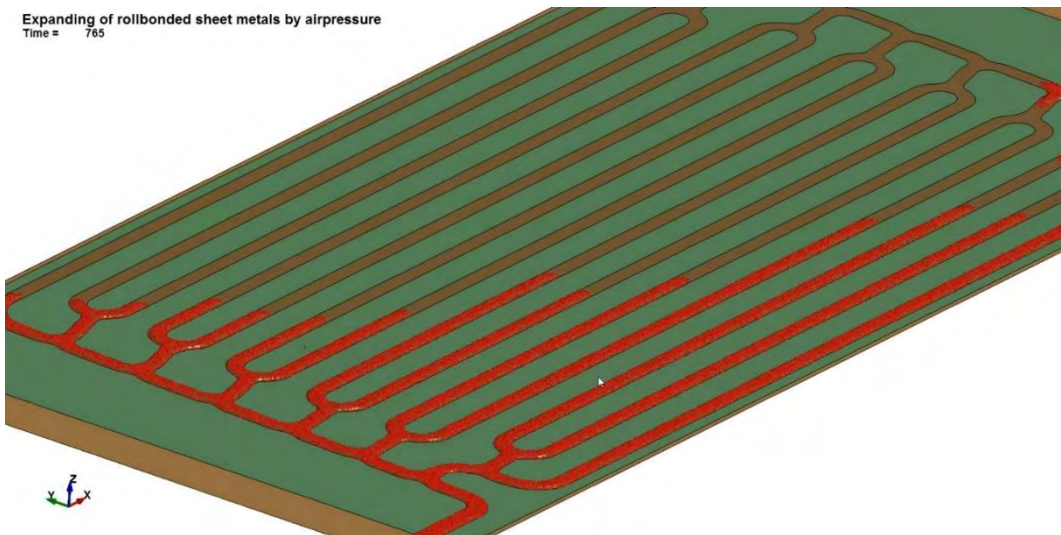


Abbildung 41: Aufblasen Kanal durch gasförmiges Wirkmedium - Animation Mitte

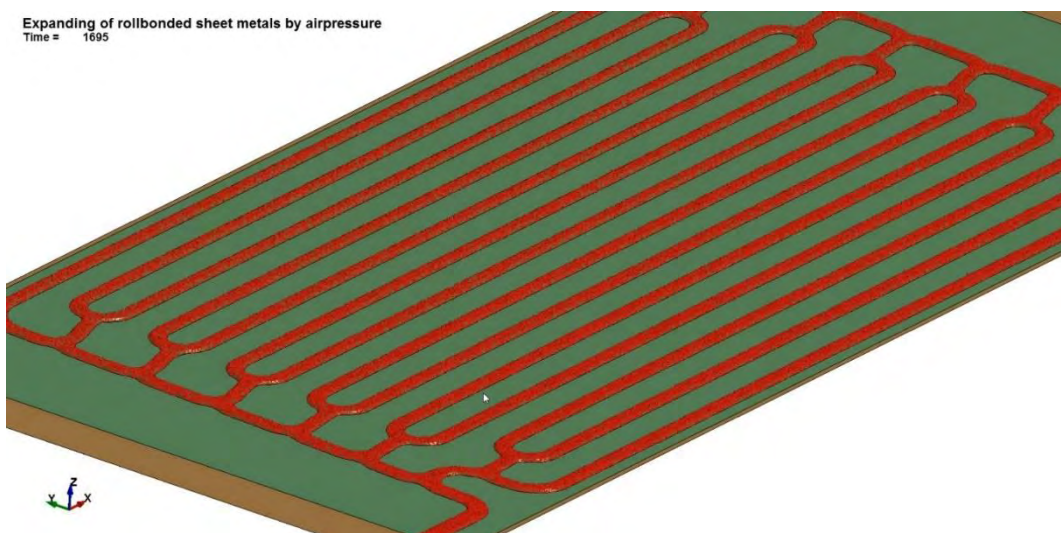


Abbildung 42: Aufblasen Kanal durch gasförmiges Wirkmedium - Animation Ende

In Abbildung 38 und Abbildung 39 werden die Simulationsergebnisse „wirksamer Innendruck im Kanal“ und „Gesamtvolumen aufgeblasener Kanal“ über der Zeit dargestellt.

In Abbildung 40 bis Abbildung 42 wird der zeitliche Fortschritt des Aufblasen des Kanals mit dem gasförmigen Wirkmedium (Partikel in roter Farbe dargestellt) abgebildet.

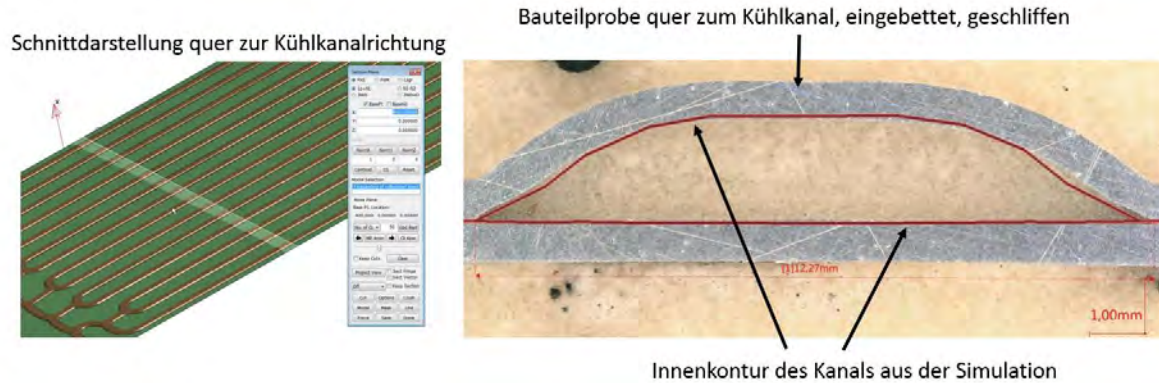


Abbildung 43: Vergleich Innenkontur des Kanals aus der Simulation mit realem Querschnitt

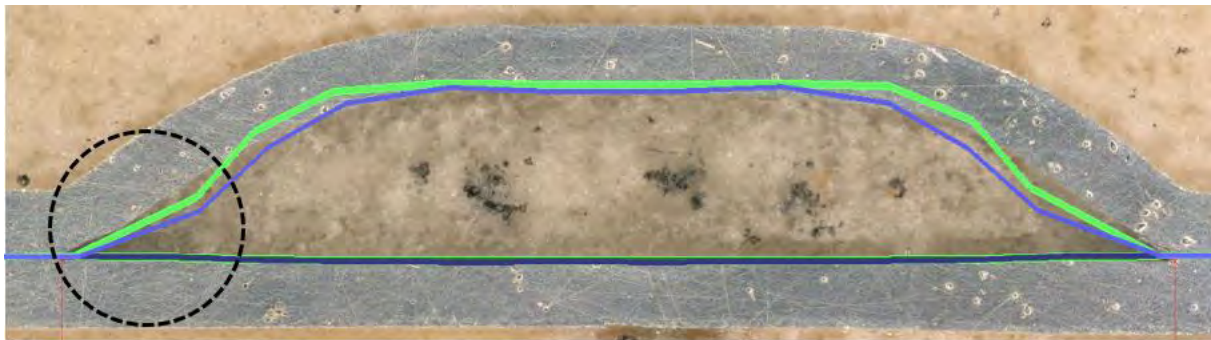


Abbildung 44: Vergleich Innenkontur des Kanals aus der Simulation (Beispiel Variante 1 und 2) mit realem Querschnitt

In Abbildung 43 und Abbildung 44 werden Vergleiche der Simulationen mit dem realen Querschnitt vorgenommen. Es zeigen sich abhängig von den verwendeten Simulationsparametern (z.B. Variante 1 und Variante 2 in Abbildung 44) unterschiedliche Ergebnisse bzw. Abweichungen zur Realität. Hierbei zu erwähnen ist, dass für optimale Ergebnisse die Größe der Schalenelemente reduziert werden müsste, was jedoch die Berechnungszeit des Modells erheblich steigern würde und z.Z. nur bedingt umsetzbar ist.

Um eine Bewertung der aufgeblasenen Bleche hinsichtlich seiner Umformbarkeit machen zu können war es erforderlich, vom weicheren oberen Blech, bei welchem auch die massive Umformung erfolgte, ein Grenzformänderungsdiagramm zu ermitteln. Auf Basis der gleichen Methodik wie bei den Proben des Zugversuchs wurden auch hier unterschiedliche Proben gefertigt, welche im Anschluss mittels des Nakazima-Versuchs bis zum Versagen belastet wurden. Der Dehnungszustand bei Auftreten des Risses wird daraufhin in ein Diagramm eingetragen und eine Grenzformänderungskurve wird interpoliert – siehe Abbildung 45. Bei Elementen in der Simulation deren Dehnungszustand über dieser FLC-Kurve liegt kann ein Versagen in Form eines Risses angenommen werden – siehe beispielhaft Abbildung 46 und Abbildung 47.

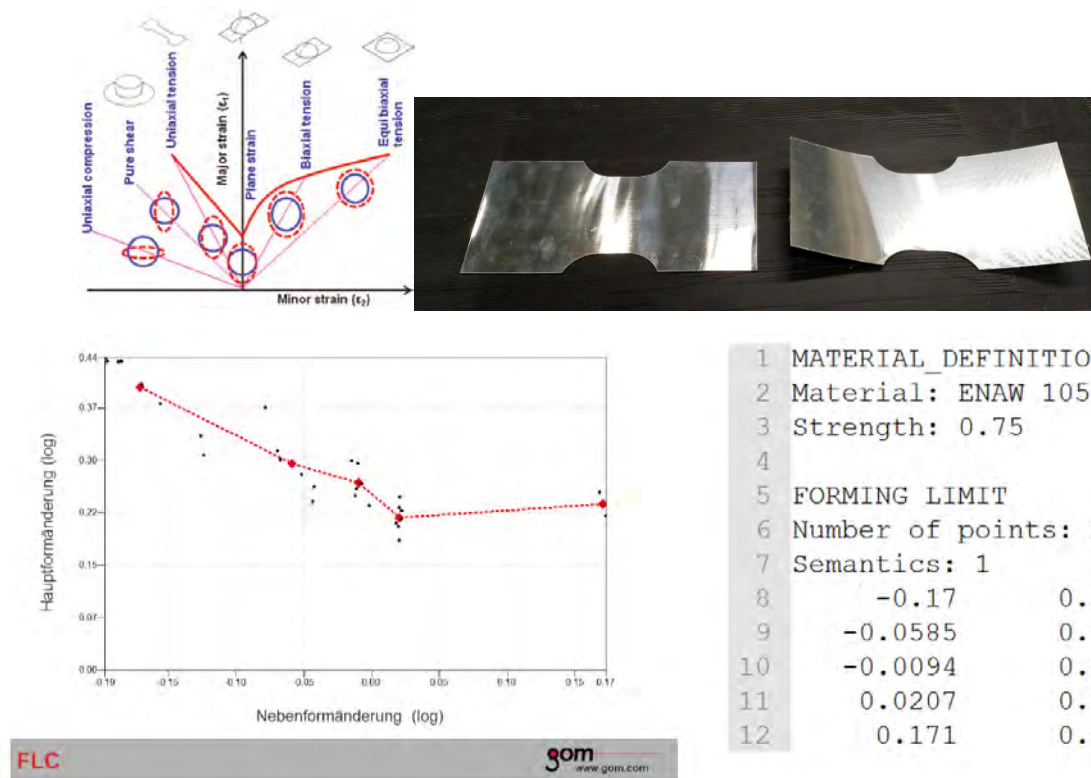


Abbildung 45: Ermittelte Grenzformänderungskurve für Material EN AW-1050

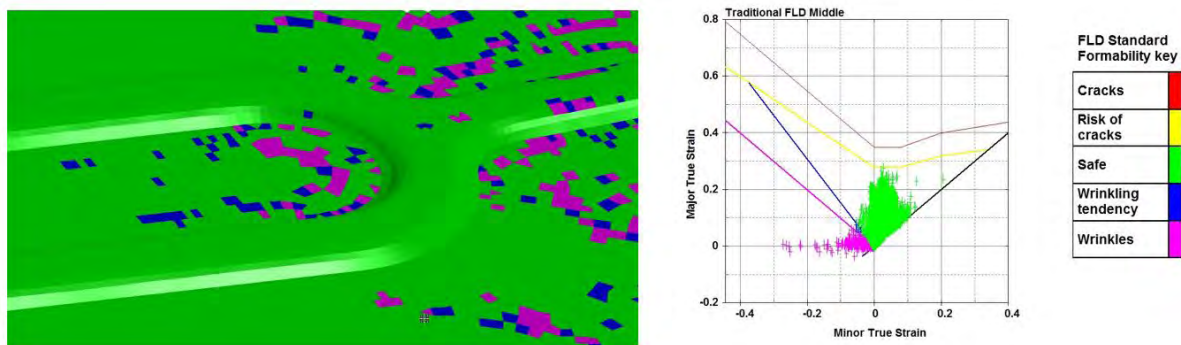


Abbildung 46: Beispielhafter Vergleich Simulationsergebnisse Nr1 oberes Blech mit FLC EN AW-1050 - Gutbauteil

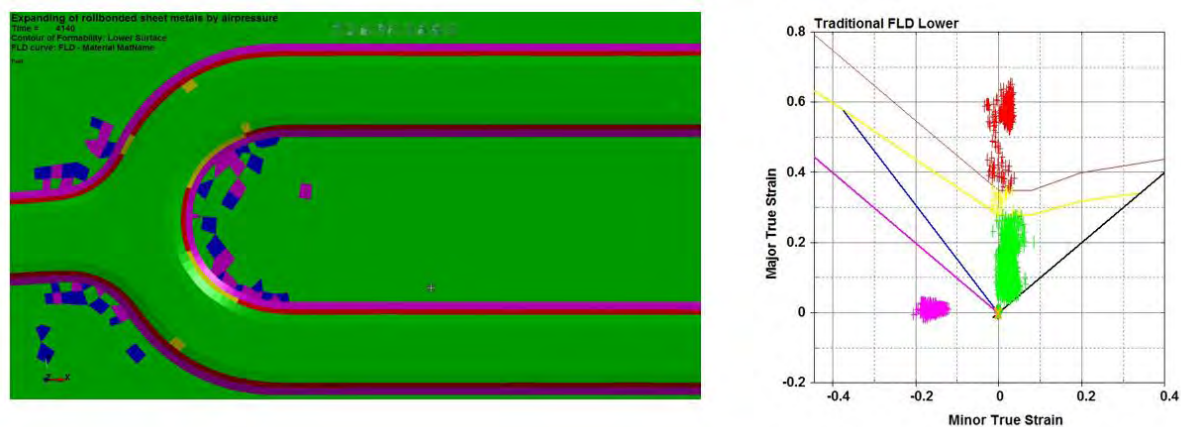


Abbildung 47: Beispielhafter Vergleich Simulationsergebnisse Nr2 oberes Blech mit FLC EN AW-1050 – Versagen inForm eines Risses

Ein weiteres Simulationsergebnis bildet die Dicke des berechneten Bauteils welche direkt über den PostProcessing-Parameter „Shell thickness“ ausgegeben werden kann – siehe beispielhaft Abbildung 48.

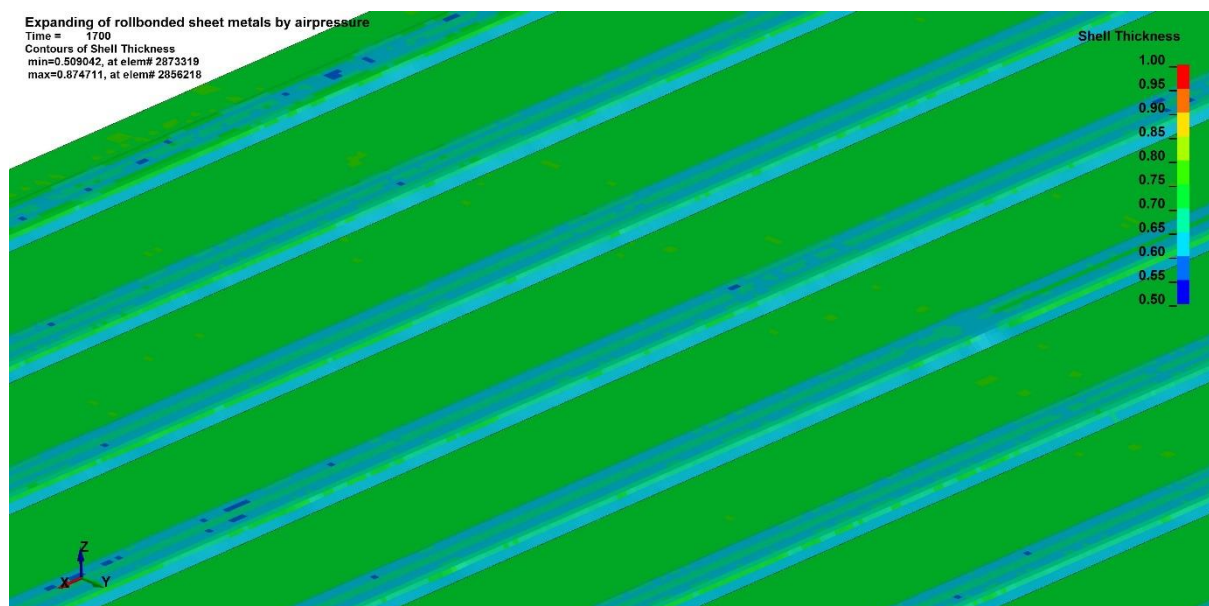


Abbildung 48: Simulationsergebnis Bauteildicke („Shell Thickness“)

Zusammenfassung / Ausblick / Optimierungsmöglichkeiten

Im Projekt wurde ein Simulationsmodell entwickelt mit dem eine realitätsnahe Simulation des Aufblasens rollgebondeter Platinen möglich ist und den Partnern für zukünftige Optimierung des Produktionsprozesses dieser Bauteile zur Verfügung steht. Die Corpuscular Partikel Methode (CPM) wurde im Simulationsmodell erfolgreich für die Abbildung des mit hohem Druck einströmenden gasförmigen Wirkmediums implementiert.

Besondere Herausforderung beim Modellaufbau ist eine möglichst gute Vernetzung der Bauteile zu erreichen. Die Größe und Qualität des Netzes hat aufgrund der sehr hohen Elementanzahl besonderen Einfluss auf die Rechenzeiten des Modells. Ein feines Netz wäre im Bereich des Kanals zur Abbildung der kleinen Radien sehr vorteilhaft. Hier ist aufgrund der sehr hohen Rechenzeiten des Modells (> 7 Tage) ein Kompromiss aus Genauigkeit der Vernetzung (feine Vernetzung mit kleinen Elementen) und Geschwindigkeit der Berechnung (grobe Vernetzung mit großen Elementen) zu finden. Volumenelemente (welche die Bauteildicke direkt abbilden könnten) können z.Z. aufgrund der langen Rechenzeiten nicht verwendet werden.

Um ein realitätsnahes Verhalten der Simulation zu erreichen ist es von außerordentlicher Bedeutung die exakten Prozessparameter (insbesondere z.B. Massenfluss über der Zeit, Befüllungszeit) zu kennen. Nur durch genaue Kenntnis dieser Werte kann das reale Verhalten der Bauteile optimal nachgebildet werden.

Um das Simulationsmodell noch besser zu optimieren, wäre es günstig Basisversuche an kleineren Strukturen zu realisieren und anhand dieser Versuche das Simulationsmodell weiter zu verbessern.

2.3.3 Integration in bestehende Heizsysteme (Talum/Studie Uni Maribor)

Der Zweck der Installation von STAF-Paneeelen an Gebäuden besteht darin, den Verbrauch bestehender Primärenergieträger für Raumheizung und Warmwasser so gering wie möglich zu halten und so zur Senkung der Treibhausgasemissionen beizutragen. Gebäude nähern sich einer kohlenstoffarmen (energiesparenden) Bauweise, die sich auf das Erfassungsergebnis auswirkt Energieausweise und Annäherung an die ständig wachsenden Ziele der EU für Baugenehmigungen. Bei der Installation von STAF-Paneeelen ist zu betonen, dass wir die Architektur der bestehenden Konstruktion nicht wesentlich beeinträchtigen, was bedeutet, dass keine größeren Bauarbeiten für die Renovierung erforderlich sind, da die Paneele an der Außenseite der Wand (Fassade) installiert werden, wodurch auch die Wärmedämmung des Gebäudes verbessert wird. Es ist auch sehr wichtig, eine erneuerbare Energiequelle zum Heizen zu verwenden, d. die Energie der Sonne, die in Slowenien und Österreich sehr interessant und sehr energieeffizient ist.

Die STAF-Paneele sind für die Installation an der Außenseite des Gebäudes vorgesehen, was seine Vorteile hat. Die Nutzung der Sonnenstrahlung hängt natürlich auch von der Position der Sonnenkollektoren in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung und deren Neigung ab (unterschiedliche Werte für verschiedene Gebiete auf der Welt). Abbildung 2-1 [1] zeigt, wie viel Sonnenstrahlung als Prozentsatz der Neigung und Richtung des Himmels in Europa genutzt werden kann. Wenn wir also einen Kollektor installiert haben, z. Wir verlieren etwa 30% an der vertikalen Südwand des Gebäudes im Vergleich zum optimalen Gefälle. Am häufigsten werden Solarkollektoren auf den Dächern von Gebäuden installiert, da dort die meisten Sonnenstrahlen aufgrund des Einfallswinkels und des geringsten Aufpralls von Gegenständen in der Umgebung, die die Kollektoren überschatten könnten, einfallen. Aufgrund der "zu günstigen" Lage der Kollektoranordnung kann es im Sommer zu Problemen mit der Überhitzung der Kollektoren und damit zu einer weitaus geringeren Auslastung und Zerstörung der Paneelebauteile kommen.

Angesichts der Sonneneinstrahlung in Slowenien und Österreich ist es sinnvoll, STAF-Paneele an den Fassaden von Gebäuden anzubringen. Die Abbildungen 2-6 und 2-7 zeigen die durchschnittlichen jährlichen Werte der globalen Sonneneinstrahlung (die sowohl die Sonneneinstrahlung auf eine rechteckige horizontale Fläche als auch die diffuse horizontale Einstrahlung enthält) für Österreich und Slowenien [3]. Die durchschnittliche jährliche globale Sonneneinstrahlung für Österreich beträgt 1.000 kWh / m².

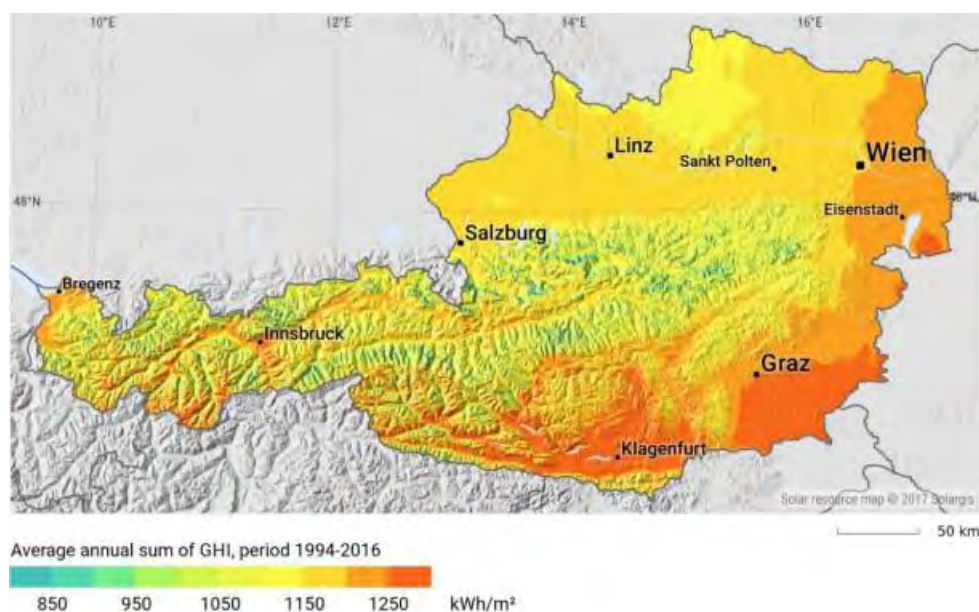


Abbildung 49: Durchschnittliche jährliche globale Sonneneinstrahlung - Österreich

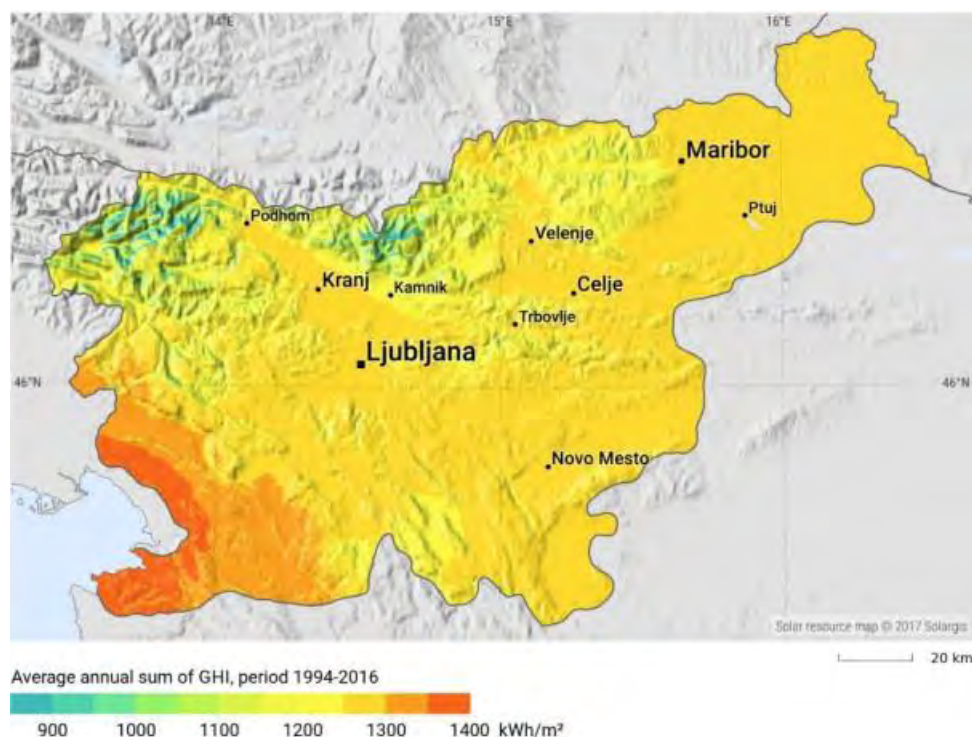


Abbildung 50: Durchschnittliche jährliche globale Sonneneinstrahlung - Slowenien

In Bezug auf die Sonnenstrahlungswerte liegen die interessantesten Gebiete für die Solarenergienutzung im Süden und Osten Österreichs, obwohl die relativ hohen Sonnenstrahlungswerte auch im Flachland Nordösterreichs zu finden sind. In den Alpen gibt es auch viele Mikrostandorte mit relativ hohen Sonnenwerten.

Slowenien hat eine günstigere Position zur Nutzung des Solarpotenzials als Österreich, da es im Süden liegt. Die am besten geeigneten Gebiete für die Nutzung der Sonnenenergie in der Region Primorska sind am besten geeignet. Etwas geringere Werte der globalen Sonnenstrahlung gibt es anderswo in Slowenien, außer im Hochland und in den Alpentälern. Die durchschnittliche jährliche globale Sonneneinstrahlung für Slowenien beträgt 1.200 kWh / m².

Statistiken für EU-Länder zeigen, dass der durchschnittliche jährliche Energieverbrauch für die Heizung im Wohnbereich 168 kWh / m² beträgt. Die Unterschiede beim Energieverbrauch sind je nach EU-Land sehr groß. Es gibt jedoch europäische Richtlinien und Richtlinien sowie nationale Energieprogramme für einzelne Länder zur Reduzierung des Energieverbrauchs in allen Sektoren, die darauf abzielen, die Nutzung erneuerbarer Energiequellen und den schrittweisen Übergang zu einer kohlenstoffarmen Gesellschaft zu fördern. In Bezug auf Gebäude besteht der Wunsch, dass so viele Gebäude wie möglich fast autark sind (was bedeutet, dass sie selbst so viel Energie produzieren, wie sie verbrauchen).

Potenzielle Nutzer von STAF-Panels in Österreich und Slowenien sind alle Gebäude, die Energie zum Heizen benötigen. Dies können Industriegebäude, Wohngebäude, Gewerbebauten, öffentliche Gebäude sein, aber es ist wichtig, dass sie sich in Gebieten mit ausreichender Sonneneinstrahlung befinden (Abbildung 49 und Abbildung 50).

Es kann der Schluss gezogen werden, dass die Solarenergienutzung zum Heizen in Österreich und Slowenien nicht sehr unterschiedlich ist, was viel Spielraum lässt, um den Anteil erneuerbarer Energien, insbesondere der Solarenergie, zu ändern und Technologien zu entwickeln, bei denen unterschiedliche Heizsystemkombinationen zum Einsatz kommen. Panels können dazu beitragen, Wärme aus Sonnenenergie zu erzeugen.

2.3.4 Gebäudesimulation

Anschließend an die numerischen Simulationen des thermischen und strömungstechnischen Verhaltens von verschiedenen STAF Paneel Konfigurationen (siehe Kapitel 2.3.1) wurde eine Gebäudesimulation aufgebaut und durchgeführt, dazu wurde die Software IDA-ICE verwendet.

IDA-ICE ist eine Gebäudesimulations-Software zur Ermittlung des Energiebedarfs und Innenraumklimas eines oder mehrerer Gebäude unter Berücksichtigung des Jahresklimas. Auf der Homepage von EQUA, des Softwareentwicklers und -vertreibers (<https://www.equa.se/de/ida-ice>) wird die Software wie folgt beschrieben: „IDA-ICE ist eine innovative und gleichzeitig bewährte detaillierte, dynamische und multizonale Simulationsanwendung für die Beurteilung des Innenraumklimas und des Energieverbrauchs ganzer Gebäude. Die physikalischen Modelle von IDA-ICE entsprechen dem neuesten wissenschaftlichen Stand und den besten verfügbaren Abbildungen der Realität. Die erreichbaren Berechnungsergebnisse überzeugen durch eine hohe Übereinstimmung mit Messdaten. Für den globalen Markt entwickelt, bietet IDA-ICE gleichzeitig Anpassungen an lokale Märkte. Dies beinhaltet sowohl die Übersetzung der gesamten Programmoberfläche in viele Sprachen, wie auch Klimadaten, Normerweiterungen, Eingabehilfen, angepasste Berichte sowie Produkt- und Materialdatenbanken.“

Im Zuge des ABS-Network Projektes wurde eine Doppelhaushälfte für je eine Familie mit ca. 120 m² nutzbare Wohnfläche als Referenzobjekt modelliert, um den energetischen Nutzen verschiedener STAF Paneel-Konfigurationen ermitteln zu können. In der folgenden Abbildung 51 ist das in IDA-ICE modellierte 3D Modell der Doppelhaushälfte mit zwei in der Fassade integrierten STAF Paneel mit der Dimension 3,5 x 1,0 m zu sehen. Die das Untersuchungsobjekt umgebenden Objekte sind zur Ermittlung der Verschattung ebenfalls eingezeichnet, allerdings war in diesem Fall ohne die Zonierung der Innenräume nicht notwendig.

Die ursprüngliche Solaranlage am Dach des Hauses wurde entfernt und es wurden dafür verschiedene Modulkonfigurationen nicht abgedeckter und abgedeckter STAF-Paneele am virtuellen Haus integriert und in der Simulation mitberücksichtigt. Ein Modul ist dabei als ein STAF Paneel mit 3,5 x 1,0 m definiert. Variiert wurde in einer Variantenberechnung die Modulanzahl, die Position (Ausrichtung) der Anlage, die Größe des Warmwasserspeichers, die Sollwerte für die Raumtemperaturregelung und auch die geografische Lage des Hauses selbst. Zusätzlich wurde die Solar thermische Anlage durch, am Markt erhältliche Anlagen ausgetauscht.

Alle Varianten und die daraus resultierenden Ergebnisse sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Der wesentliche Vergleichsfaktor ist in dieser Analyse der Solare Deckungsgrad, der Anteil der benötigten Energie in Form von Warmwasser (inkl. Heizung), der über die Solar thermische Anlage über das Jahr bereitgestellt werden konnte. Je höher die solare Deckung, umso weniger Zusatzenergie aus fossilen oder anderen Energieträgern ist notwendig.

Mit der in der Analyse am besten funktionierenden Variante mit nicht abgedeckten STAF Paneelen an der Südfassade konnte für den Standort in Graz eine Solare Deckung von 14,1 % erreicht werden, in der Variante mit Glasabdeckung wurde ein Wert von 35,4 % erzielt. Am Markt erhältlichen Anlagen erreichten im Vergleich dazu, unter Annahme äquivalenter Kollektorfläche (entspricht nicht den am Markt tatsächlich erhältlichen Größenordnungen), eine Solare Deckung zwischen 41,6 und 52,7 %.

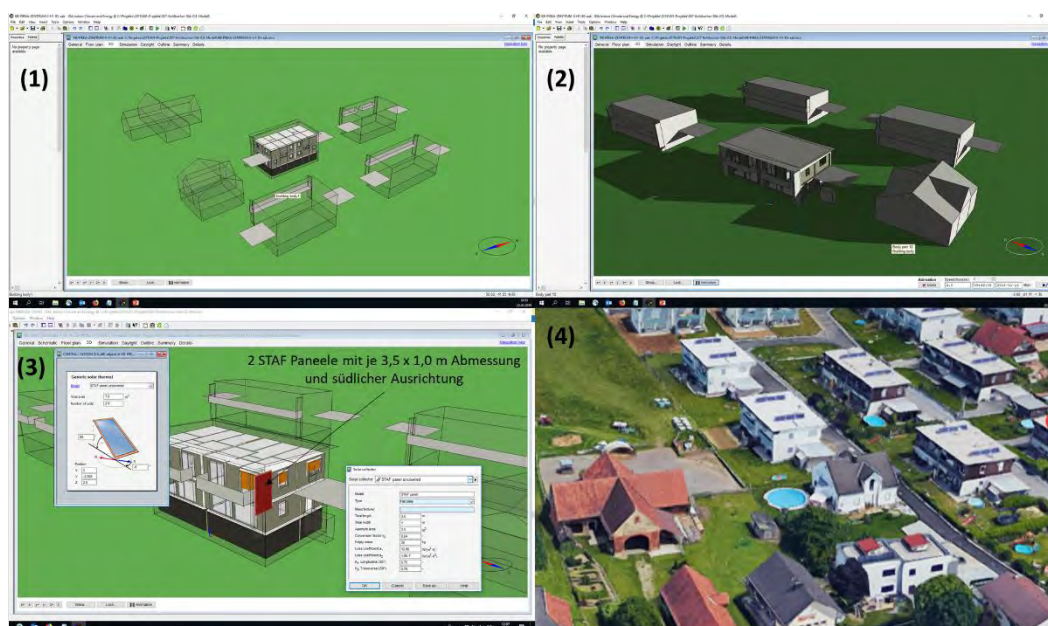


Abbildung 51: Screenshot (1) aus der IDA-ICE Simulationsoberfläche während der Modellierung, (2) während der Verschattungsberechnung, (3) während der Definition des STAF Paneels, (4) aus „Google Maps“ zur Darstellung des realen Standorts.

Tabelle 7: Auswertung und Vergleich der Ergebnisse aus der IDA-ICE Gebäude Simulation.

Szenario	Beschreibung	Sol. Strahl./ Fläche	Ertrag	Effizienz	Ertrag auf Fläche	Energie- bedarf	Solarer Deckungsgrad	Energie- bedarf Heizen	Energie- bedarf Heizen
		kWh/a	kWh/a	%	kWh/ m ² /a	kWh/a	%	kWh/a	kWh/a/m ²
Kollektorfläche von 10.5 m² = 3 STAF Paneele, Fassade südlich, 1000l Warmwasserspeicher, Standort Graz									
KB-000	ohne Solaranlage	-	-	-	-	9693	0.0%	7004	56.9
KB-aad	STAF Glasabdeckung-Dach-90°	11903	3647	30.6%	521	9875	36.9%	7186	58.4
KB-aae	STAF Glasabdeckung-Dach-45°	15434	4307	27.9%	615	9875	43.6%	7186	58.4
KB-aaf	STAF Glasabd.-Carport-45°	14848	4168	28.1%	595	9872	42.2%	7183	58.4
KB-aak	STAF Glasabd.-Südfassade	11308	3499	30.9%	500	9876	35.4%	7187	58.4
KB-aal	STAF-Südfassade	11301	1226	10.9%	175	9872	12.4%	7183	58.4
KB-aam	STAF wenig Wind-Südfassade	11297	1654	14.6%	236	9872	16.8%	7184	58.4
KB-aan	STAF Glasabd.-Ostfassade	7762	1838	23.7%	263	9884	18.6%	7195	58.5
KB-aao	STAF Glasabdeckung-Osten	7771	757	9.7%	108	9872	7.7%	7184	58.4
KB-aap	Savosolar Oyj SF500-15 SG-M-Südfassade	11987	5204	43.4%	743	9881	52.7%	7192	58.5
KB-aaq	Agna AZUR8-Südfassade	12100	4682	38.7%	669	9903	47.3%	7214	58.6
KB-aar	Geo-Tec ALU2000Q/US-Südfassade	11635	4114	35.4%	588	9899	41.6%	7210	58.6
Kollektorfläche von 7.0 m² = 2 STAF Paneele, Fassade südlich, 500l Warmwasserspeicher, Standort Graz									
KB-aas	STAF Glasabdeckung-T-Soll-23	7539	2758	36.6%	394	11604	23.8%	8743	71.1
KB-aat	STAF Glasabdeckung-T-Soll-21	7541	2664	35.3%	381	10016	26.6%	7155	58.2
Kollektorfläche von 17.5 m² = 5 STAF Paneele, Fassade südlich, 2000l Warmwasserspeicher, Standort Graz									
KB-aau	STAF Glasabdeckung-T-Soll-23	18588	4640	25.0%	663	10136	45.8%	7447	60.5
KB-aav	STAF-T-Soll-23	18550	1425	7.7%	204	10136	14.1%	7447	60.5
Kollektorfläche von 17.5 m² = 5 STAF Paneele, Fassade südlich, 2000l Warmwasserspeicher, Standort Graz									
KB-aaw	STAF Glasabdeckung-T-Soll-23	18590	4754	25.6%	679	10146	46.9%	7457	60.6
Kollektorfläche von 17.5 m² = 5 STAF Paneele, Fassade südlich, 3000l Warmwasserspeicher, Standort Graz									
KB-aax	STAF Glasabdeckung-T-Soll-23	18586	4894	26.3%	699	10134	48.3%	7445	60.5
Kollektorfläche von 17.5 m² = 5 STAF Paneele, Fassade südlich, 1000l Warmwasserspeicher, Standort Graz									
KB-aay	STAF Glasabdeckung-T-Soll-23	18595	4443	23.9%	635	10139	43.8%	7450	60.6
KB-aaz	STAF-T-Soll-23	18551	1317	7.1%	188	10138	13.0%	7449	60.6
Kollektorfläche von 17.5 m² = 5 STAF Paneele, Fassade südlich, 500l Warmwasserspeicher, Standort Graz									
KB-aba	STAF-T-Soll-23	18540	1126	6.1%	161	10134	11.1%	7445	60.5
KB-abb	STAF Glasabdeckung-T-Soll-23	18570	3937	21.2%	562	10150	38.8%	7445	60.5
Kollektorfläche von 17.5 m² = 5 STAF Paneele, Fassade südlich, 1000l Warmwasserspeicher, Standort Ljubljana									
KB-abc	STAF Glasabdeckung-T-Soll-23	15477	3657	23.6%	522	8651	42.3%	5962	48.5
KB-abd	STAF uncovered-T-Soll-23	15459	1264	8.2%	181	8652	14.6%	5963	48.5

Kollektorfläche von 17.5 m² = 5 STAF Paneele, Fassade südlich, 1000l Warmwasserspeicher, Standort Oslo									
KB-abe	STAF Glasabdeckung-T-Soll-23	16258	4260	26.2%	609	17111	24.9%	14421	117.2
KB-abf	STAF uncovered-T-Soll-23	16221	939	5.8%	134	17121	5.5%	14432	117.3
Kollektorfläche von 17.5 m² = 5 STAF Paneele, Fassade südlich, 1000l Warmwasserspeicher, Standort Ibiza									
KB-abg	STAF Glasabdeckung-T-Soll-23	18019	3298	18.3%	471	3173	103.9%	484	3.9
KB-abh	STAF uncovered-T-Soll-23	18001	1387	7.7%	198	3173	43.7%	484	3.9
Kollektorfläche von 17.5 m² = 5 STAF Paneele, Dach 45° südlich, 1000l Warmwasserspeicher, Standort Ibiza									
KB-abi	STAF uncovered-T-Soll-23-3°	22002	1449	6.6%	207	3172	45.7%	483	3.9
KB-abj	STAF uncovered-T-Soll-23-45°	19446	1469	7.6%	210	3173	46.3%	484	3.9

2.3.5 Hygrothermisches Verhalten

Zur Ermittlung des hygrothermischen Verhaltens der im Abschnitt 2.4 (Vorschläge zur Fassadenintegration von STAF-Paneeelen - Hochbaudetails) beschriebenen Anwendungsmöglichkeiten wurden Simulationen mittels der Software „AnTherm“ durchgeführt. Als Beispiel wird an dieser Stelle das Detail jener Pfosten-Riegel-Fassade mit Glas- und STAF-Panelfeld dargestellt, welches im Rahmen des 5. Businessstreffens als Demonstrator präsentiert wurde (Abbildung 52).

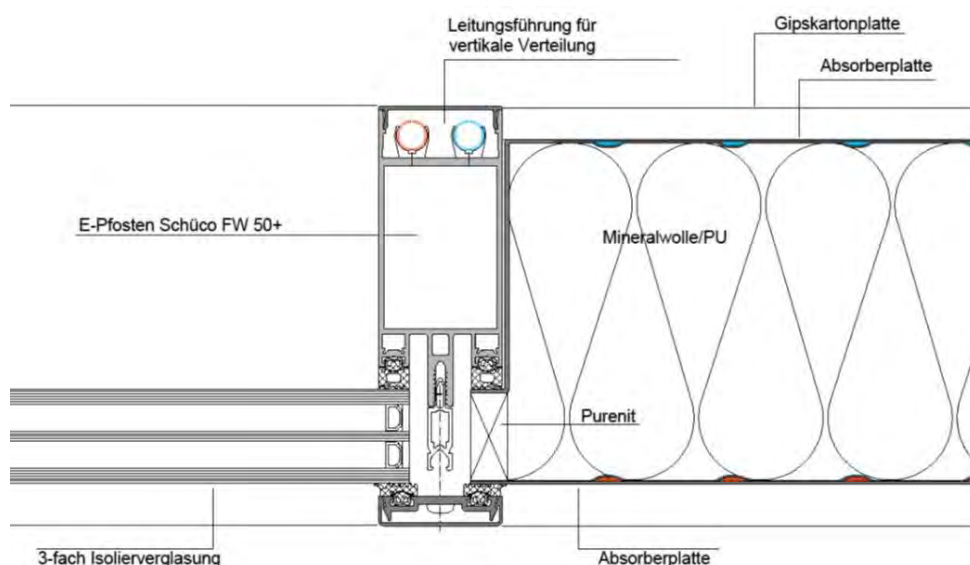


Abbildung 52: Hochbaudetail (Horizontalschnitt) einer Pfosten-Riegel-Fassade mit Glas- und STAF-Panelfeld als Grundlage für die hygrothermische Simulation mit „AnTherm“.

Um die Anzahl der Elemente gering zu halten und somit schnellere Rechenzeiten zu generieren, wurde das Detail dahingehend adaptiert, dass die Rundungen des Originalbauteiles im Simulationsmodell durch Rechtecke ersetzt wurden (Abbildung 53).

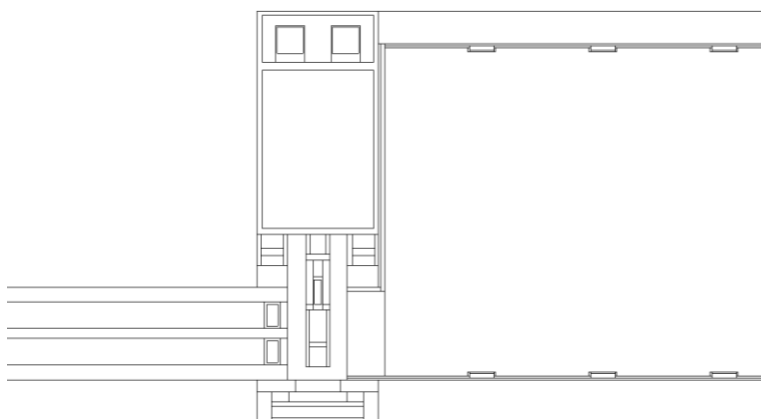


Abbildung 53: Simulationsmodell als Vereinfachung der realen Bauteilgeometrie.

Die Materialparameter (Tabelle 7) wurden der ÖNORM B 8110-7 bzw. den jeweiligen Datenblättern entnommen, Schraffuren und Farben richten sich nach ÖNORM A 6240-2.

Tabelle 8: Wärmeleitfähigkeit λ der verwendeten Baustoffe

Material	λ
	W/mK
Aluminium	160,000
EPDM	0,250
Gipskartonplatte	0,250
Glas	1,000
Luft	0,025
Polyethylen	0,500
Polyisobutylenkautschuk	0,200
Polyurethan	0,019
Purenit	0,083
Wasser bei 40°C	0,630
Wasser bei 10°C	0,600

Die Randbedingungen für das Innen- und Außenklima wurden für einen Winter- (Var. A) und einen Sommerbetrieb (Var. B) angesetzt. Im Winterbetrieb wurde zusätzlich eine Variante mit Ausfall der Durchströmung der Kanäle im Paneel simuliert (Var. C). Für den Sommerfall wurde eine Variation der Wärmeübergangswiderstände der durchströmten Kanäle berechnet (Var. D). Die Wärmeübergangswiderstände wurden aus der ÖNORM EN ISO 6946 und ÖNORM EN 1264 entnommen. Bei der Variante D wurde eine Berechnung der Rohrreibungszahl mit einem Kanaldurchmesser von drei Millimetern durchgeführt, wodurch sich ein vernachlässigbar geringer Wärmeübergangswiderstand der Kanäle ergibt. In Tabelle 9 sind sowohl die Randbedingungen als auch die Ergebnisse der berechneten Mindestinnenoberflächentemperaturen sowie der Bemessungstemperaturfaktoren f^*_{Rsi} im Paneelbereich dargestellt.

Tabelle 9: Randbedingungen und Wärmeübergangswiderstände

	Variante			
	A	B	C	D
Innenlufttemperatur [°C]	20,0	25,0	20,0	25,0
Außenlufttemperatur [°C]	-5,0	30,0	-5,0	15,0
Wärmeübergangswiderstand Innenoberfläche [m²K/W]	0,13	0,13	0,13	0,13
Wärmeübergangswiderstand Außenoberfläche [m²K/W]	0,04	0,04	0,04	0,04
Fluidtemperatur Innen [°C]	20,0	15,0	-	15,0
Fluidtemperatur Außen [°C]	11,4	50,0	-	50,0
Wärmeübergangswiderstand innere Kanäle [m²K/W]	0,13	0,13	-	0,0001
Wärmeübergangswiderstand äußere Kanäle [m²K/W]	0,13	0,13	-	0,0001
Berechnete Mindestinnenoberflächen-temperatur im Paneelbereich [°C]	15,8	22,3	15,4	16,5
Berechneter Bemessungstemperaturfaktor im Paneelbereich f^*_{Rsi} [-]	0,833	1,550	0,815	0,859

Zur Veranschaulichung sind die Simulationsergebnisse anhand von Isothermen beispielhaft für den Winterbetrieb (Var. A) in den Abbildung 54 und Abbildung 55 dargestellt.

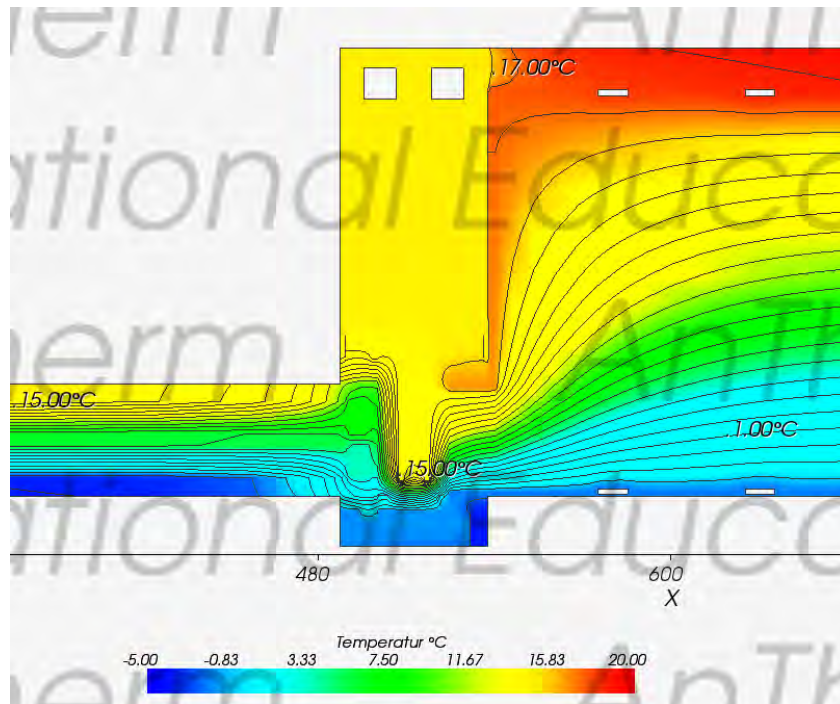


Abbildung 54: Isothermen der Variante A in AnTherm V.9.136.0, Horizontalschnitt.

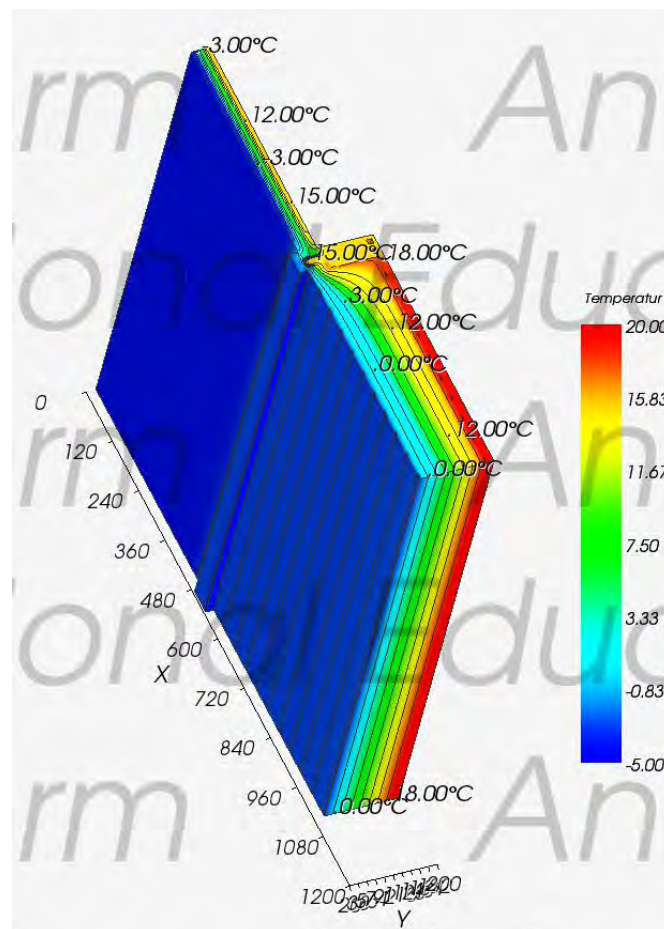


Abbildung 55: Isothermen der Variante A in AnTherm V.9.136.0, Schrägriss.

Resümee und Ausblick:

Durch die thermische Trennung des Panels von der Innen- zur Außenseite entstehen keine Kondensat- oder Schimmelprobleme im Betriebsfall Winter und ebenso nicht, wenn die Durchströmung der Kanäle ausfällt. Vorsicht ist jedoch bei der Wandkühlung im Sommer geboten, da die Vorlauftemperatur und die vorherrschenden Raumtemperaturen maßgeblichen Einfluss auf die Oberflächenkondensation haben. Hier wird auf die ÖNORM EN 1264 Teil 1 bis 5 verwiesen. Da die Wärmeübergangswiderstände - wie die Ergebnisse der Varianten B und D zeigen - ebenfalls große Auswirkungen auf die Oberflächentemperaturen haben, sollten diese durch Messungen an realen Bauteilen validiert werden, um für weitere Berechnungen herangezogen werden zu können.

2.4 Vorschläge zur Fassadenintegration von STAF-Paneelen – Hochbaudetails (IHB)

Im Rahmen des Projektes wurden seitens des Institutes für Hochbau Konzepte zur Implementierung von STAF-Paneelen in moderne Fassadensysteme erarbeitet. Dabei wurde jeweils einem Fassadensystem eine spezielle Gebäudenutzung zugeordnet, um die baukonstruktiven, bauphysikalischen und gebäudetechnischen Anforderungen an die Fassade definieren zu können. Insgesamt wurden die folgenden fünf unterschiedliche Fassadensysteme (bzw. Gebäudenutzungen) für eine Ausstattung mit STAF-Paneelen als besonders geeignet identifiziert und einer näheren Betrachtung unterzogen:

- Posten-Riegel-Fassade (Verwaltungsbau)
- Elementfassade (Bürobau)
- Fassade aus Sandwich-Paneelen mit/ohne Glasabdeckung (Gewerbebau/Industriebau)
- vorgehängte, hinterlüftete Fassade aus Aluminiumkassetten (Schulbau)
- vorgehängte, hinterlüftete Fassade als Plattenfassade (Wohnbau)

Für diese fünf Anwendungsfälle bzw. Einbausituationen wurden Konstruktionszeichnungen spezieller Detailpunkte, wie z.B. die Anschlüsse für Vor- und Rücklaufleitungen, Paneelstöße und Befestigungen erstellt.

Pfosten-Riegel-Fassade:

Dieses Fassadensystem ist durch seine tragenden vertikalen und horizontalen Profile meist aus stranggepresstem Aluminium gekennzeichnet. Es lassen sich sowohl einzelne Öffnungen als auch ganze Fassadenflächen herstellen. Durch variable Abmessungen der Profile (Breite und Tiefe), welche von diversen Herstellern vorgefertigt angeboten werden, kann das Fassadensystem sehr gut an die jeweilige Einbausituation angepasst werden (Abbildung 56).

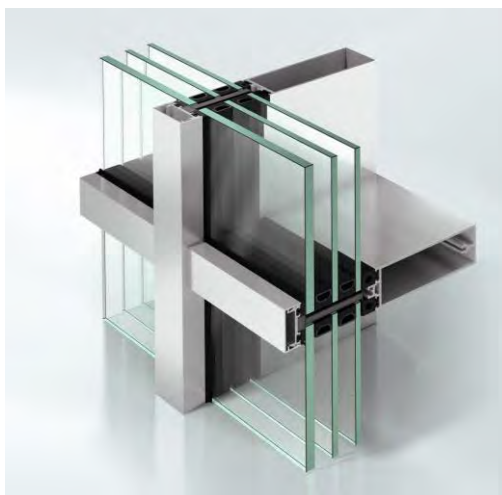


Abbildung 56: Pfosten-Riegel-Fassade der Fa. Schüco mit Dreifach-Isolierverglasung. [24]

Die Abbildung 57 zeigt die mögliche Integration von STAF-Paneelen als opake Elemente innerhalb eines Pfosten-Riegel-Fassadensystems.

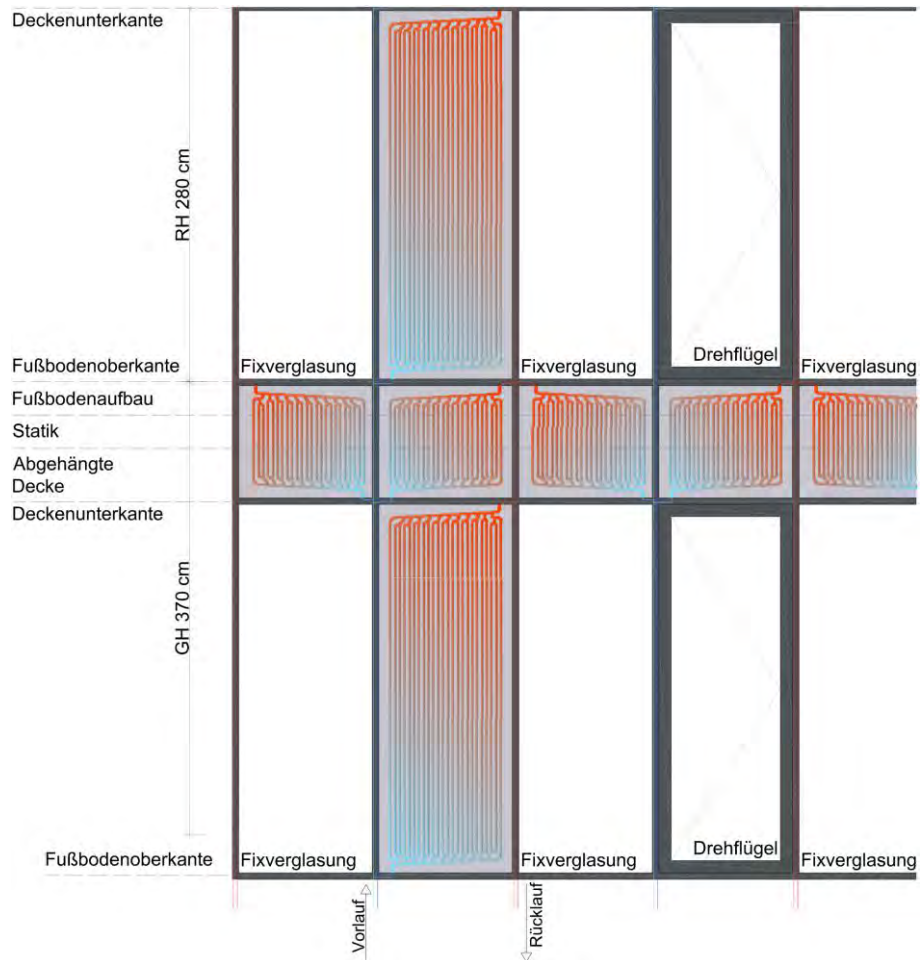


Abbildung 57: Pfosten-Riegel-Fassadensystem mit STAF-Paneelen und eingezeichneten Fluidkanalverläufen, Ansicht.

Elementfassade

Dies sind im Werk vorgefertigte, meist geschoßhohe Elemente, die in einem Stück an die Baustelle geliefert und versetzt werden. Sie integrieren alle Bestandteile einer Fassade (opake Brüstungen und Stürze, Fixverglasungen und öffnbare Flügel, Sonnenschutz etc.) in einem Element und bilden den vollständigen Raumabschluss (Abbildung 58).



Abbildung 58: Elementfassade der Fa. Schüco mit Zweifach-Isolierverglasung. [25]

Die Abbildung 59 zeigt die mögliche Integration von STAF-Paneelen als opake Elemente innerhalb einer Elementfassade.

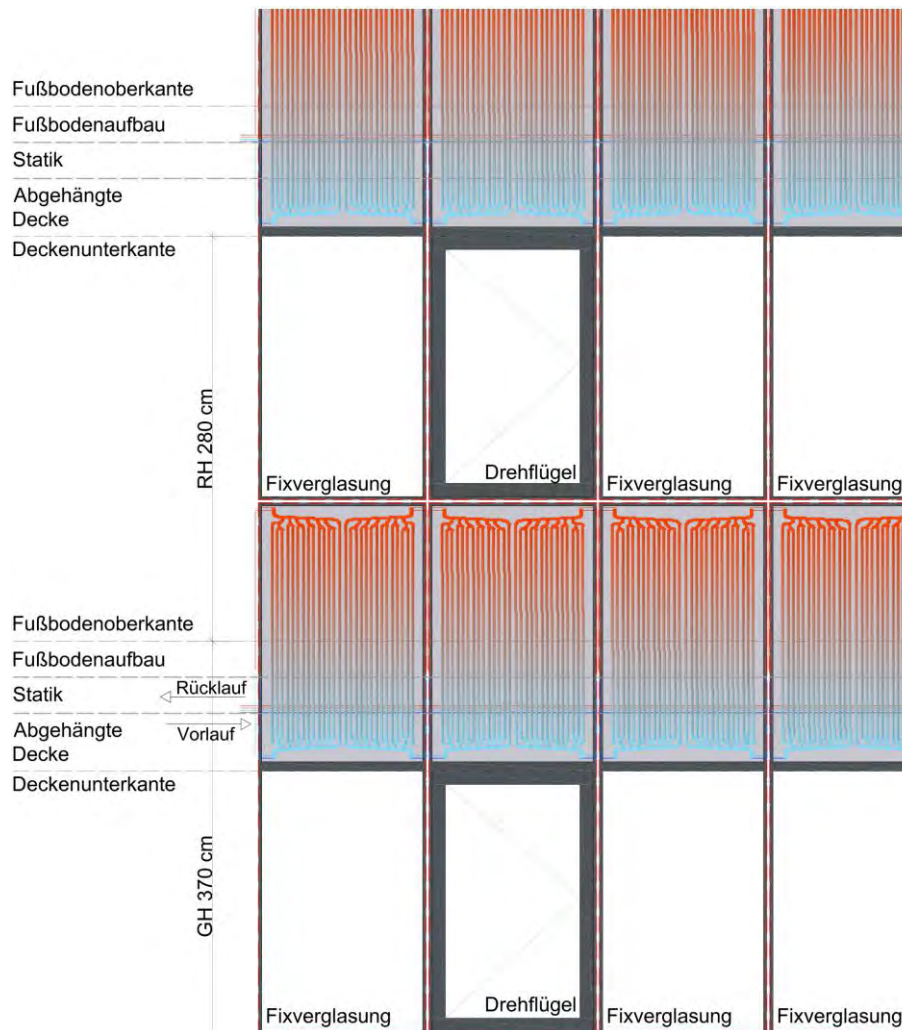


Abbildung 59: Elementfassade mit STAF-Paneelen und eingezeichneten Fluidkanalverläufen, Ansicht.

Fassade aus Sandwichpaneelen

Zur Definition von Sandwichpaneelen wird auf 2.1.1 verwiesen. Abbildung 60 zeigt exemplarisch die äußere Gestalt einer Fassade aus Sandwichpaneelen bei horizontaler Verlegung der Elemente.

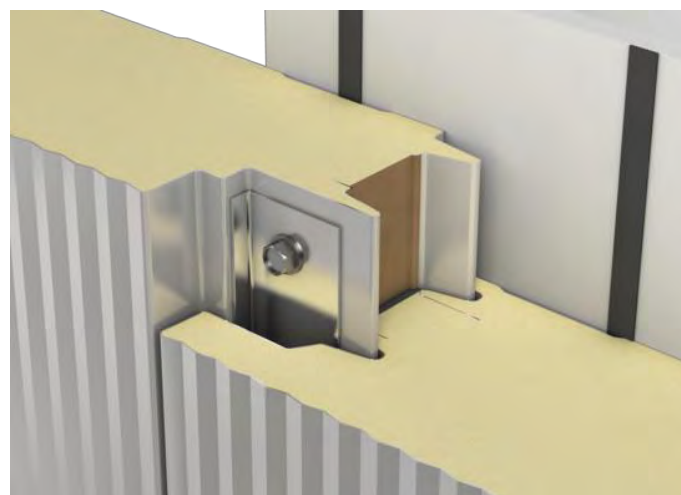


Abbildung 60: Elementstoß zweier Sandwichpaneele mit mikroprofilierter Oberfläche bei vertikaler Verlegung. [26]

Die Abbildung 61 zeigt den Einsatz von STAF-Paneelen für Fassaden im Industriebau als Alternative zu herkömmlichen Sandwichpaneelen.

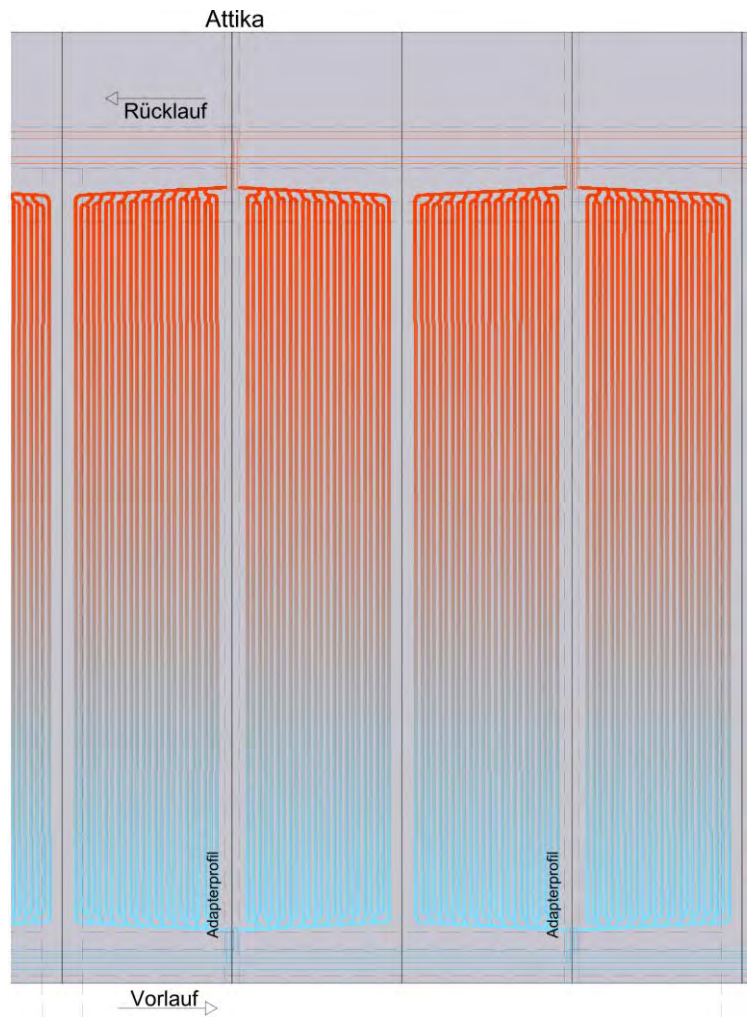


Abbildung 61: Fassade aus STAF-Paneelen bei vertikaler Verlegung mit eingezeichneten Fluidkanalverläufen, Ansicht.

Für die Vor- und Rücklaufleitungen zum STAF-Paneel wurde eigens ein Adapterprofil entwickelt (Abbildung 62).

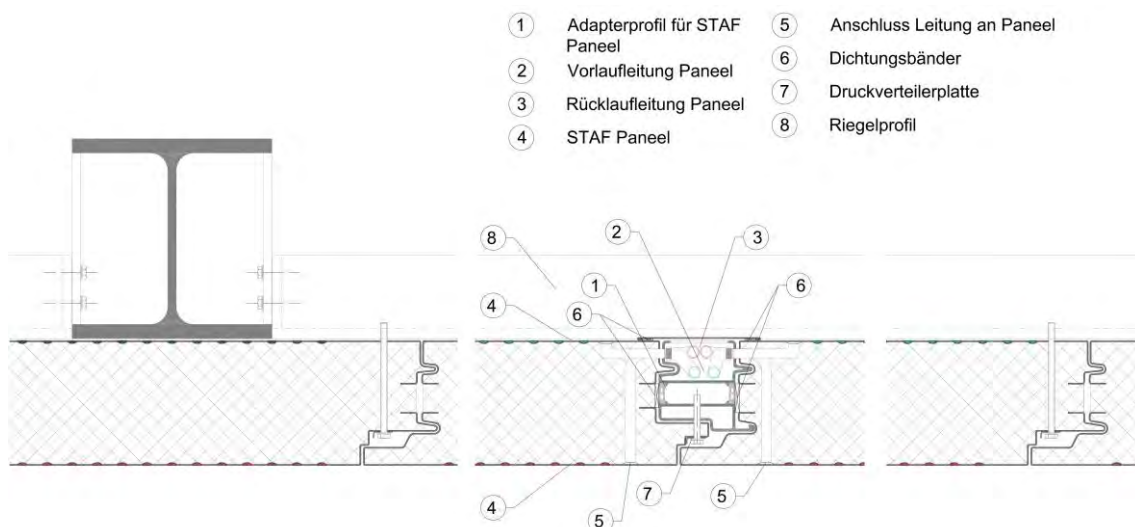


Abbildung 62: Adapterprofil zur Aufnahme der Vor- und Rücklaufleitungen für das STAF-Paneel, Horizontalschnitt.

Vorgehängte, hinterlüftete Fassaden

Dieser Fassadentyp setzt sich (von außen nach innen) aus der Fassadenbekleidung, der Hinterlüftungsebene, der Wärmedämmung und einer Unterkonstruktion für die Fassadenbekleidung, die auf einem statisch tragfähigen Untergrund befestigt werden muss, zusammen. Bauphysikalisch bieten vorgehängte, hinterlüftete Fassaden den Vorteil, dass Kondenswasser, welches vom Gebäudeinneren durch die Wandkonstruktion nach außen dringt, in der Hinterlüftungsebene abtransportiert wird und somit keine Schäden an der Konstruktion verursacht. Darüber hinaus weisen sie im Sommer einen verbesserten Schutz gegenüber sommerlicher Überwärmung auf. Da vorgehängte, hinterlüftete Fassaden teurer als klassische Warmfassaden (z.B. WDVS-Fassaden) sind, bleibt ihr Einsatz zumeist auf gehobene Bauaufgaben beschränkt.

Beispielhaft für vorgehängte, hinterlüftete Fassaden sei an dieser Stelle die Kassettenfassade angeführt (Abbildung 63).



Abbildung 63: Kassettenfassade aus gekanteten Aluminiumblechen. [27]

Die Abbildung 64 zeigt den Einsatz von STAF-Paneelen als Kassettenfassade

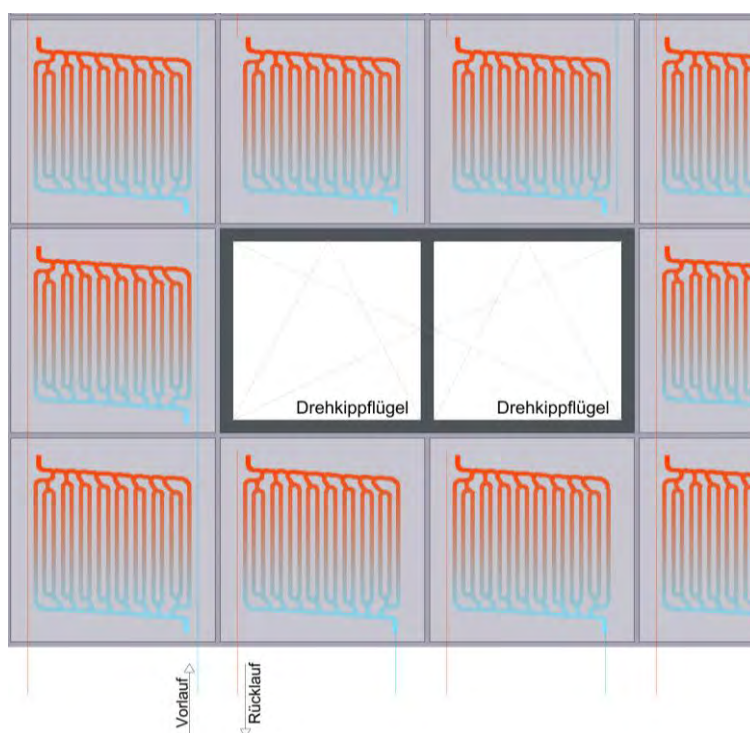


Abbildung 64: Kassettenfassade aus STAF-Paneelen mit eingezeichneten Fluidkanalverläufen, Ansicht.

Auch bei diesem Fassadensystem ist eine Integration von STAF-Paneelen möglich. Aufgrund der Tatsache, dass die Fassadenbekleidung keinerlei wärmetechnischen Anforderungen genügen muss, wird in diesem Fall lediglich die (mit Fluidkanälen ausgestattete) gekantete Absorberplatte aus Aluminium ohne Dämmkern, jedoch statisch verstärkt, verbaut (STAF-Absorber). Die Abbildung 65 zeigt den Horizontal- sowie Vertikalschnitt durch einen typischen Konstruktionsaufbau.

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1 Bolzeneinhang | 7 Anschluss Fluidkanal |
| 2 Tragprofil | 8 Wandschlitz zur Leitungsführung |
| 3 Wandkonsole | 9 Vor- / Rücklaufleitung Paneel |
| 4 Thermische Trennung | 10 Befestigungsschellen |
| 5 Befestigungsschraube | 11 Hinterlüftung |
| 6 Aluminiumkassette gekantet, als STAF Absorber | |

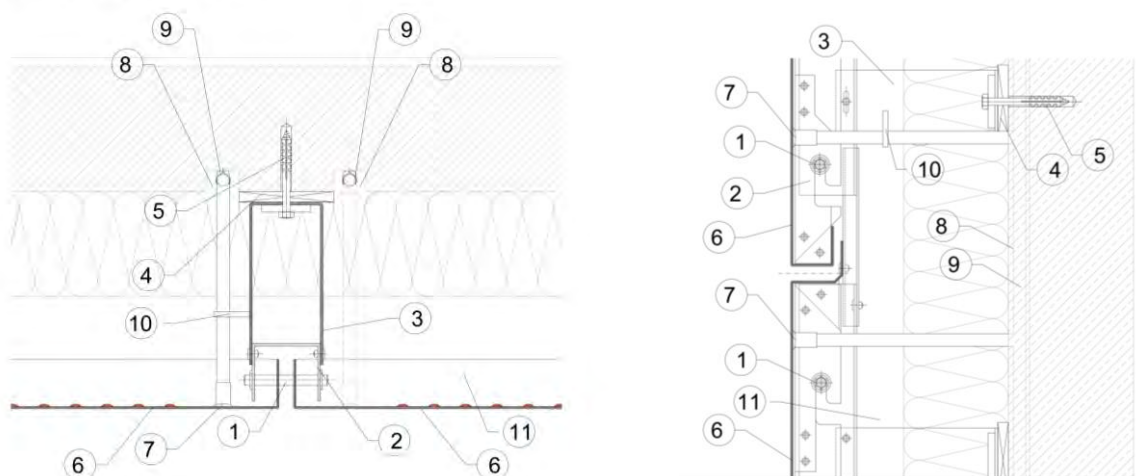


Abbildung 65: Horizontalschnitt (links) und Vertikalschnitt (rechts) durch eine vorgehängte, hinterlüftete Kassettensassade aus STAF-Absorbern.

2.5 LifeCycle Analysis (Talum/Studie Uni Maribor)

Der Lebenszyklus des STAF-Panels beginnt mit der Gewinnung von Rohstoffen, die auch den Transport von Rohstoffen umfasst. In der Produktionsphase des STAF-Panels werden die Rohstoffe zunächst in ein Halbprodukt und dann in ein Produkt umgewandelt. Das fertige Produkt wird dann an den Verbraucher geliefert. Die Produktionsphase eines STAF-Panels besteht aus drei Schritten: Materialherstellung, Produktherstellung sowie Abfüllen, Verpacken und Verteilen. Die Antragsphase für das STAF-Panel umfasst die tatsächliche Nutzung des STAF-Panels durch den Verbraucher und die Wartung des STAF-Panels. Sobald das STAF-Panel den Verbraucher erreicht, sind weitere Aktivitäten im Zusammenhang mit der Lebensdauer des STAF-Panels in der Gebrauchs- und Wartungsphase enthalten. Diese Phase umfasst unter anderem die erzeugte oder verbrauchte Energie des STAF-Panels und die mit der Nutzung und Wartung des STAF-Panels verbundenen Abfälle. Die Recycling- und Abfallentsorgungsphase umfasst die Energieanforderungen für das Recycling und die Abfallentsorgung sowie die mit der Entsorgung des STAF-Panels verbundenen Abfälle. Alle Phasen des Lebenszyklus werden von einem Umweltfaktor begleitet, der die Umweltverschmutzung bewertet.

Ziel der Lebenszyklusanalyse ist es, eine energetische Ökobilanz des STAF-Panels von der Wiege bis zur Bahre zu erstellen. Die Energiebewertung wird als Verhältnis zwischen der für ihre Erzeugung erforderlichen Energie und der vom STAF-Panel über den Lebenszyklus erzeugten Energie ausgedrückt. Der Energieeinsatz für die Produktion deckt die gesamte Energie ab, die zur Herstellung des STAF-Panels erforderlich ist. Dies ist die Energie für die Herstellung von Aluminiumlegierungen aus Bauxit, die Energie für die Herstellung von Basalt- und Diabas-Steinwolle, die Energie für die Herstellung des STAF-Panels, die Energie für die Herstellung von Verbrauchsmaterialien und die Energie für den Transport. Bei der Berechnung des Energieeinsatzes für die Herstellung von Aluminiumlegierungen berücksichtigen wir, dass 40% der durch Recycling gewonnenen Aluminiumlegierung verwendet werden. Bei der Schätzung der erzeugten Energie des STAF-Panels berücksichtigen wir die Lebensdauer, Position, Position und Ausrichtung des STAF-Panels. Die Umweltbewertung wird jedoch in der Beziehung zwischen dem Umweltbelastungsfaktor, der sich aus der Herstellung des STAF-Panels ergibt, und dem Treibhausgasminderungsfaktor während der Lebensdauer des STAF-Panels ausgedrückt. Der Treibhausgasminderungsfaktor wird in der Menge an Energie ausgedrückt, die das STAF-Panel über die Lebensdauer erzeugt, verglichen mit der gleichen Menge an Energie, die durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe erzeugt wird.

Die STAF-Panel-Lebenszyklusanalyse erfasst die Eingaben und die Systemgrenze. Die Eingabe umfasst die Rohstoff-, Energie- und Sondermülldaten, die zur Herstellung des STAF-Panels verwendet wurden. Die Ausgabedaten umfassen Luftemissionen, Wasserabfälle, feste Abfälle, Energie, Recyclingmaterial und andere Produkte. Emissionen in die Luft decken die produzierten oder reduzierten Treibhausgase des STAF-Panels ab. Wasserabfälle stellen eine Verschmutzung der Wasserwirtschaft und der damit verbundenen Umweltbelastung dar, die während des Lebenszyklus des STAF-Panels auftritt. Feste Abfälle sind Abfälle, die im Lebenszyklus einer STAF-Platte ohne Recyclingfähigkeit entstehen. Die ausgangsseitige Energie repräsentiert den Energie-Lebenszyklus des STAF-Panels und ist das Verhältnis der zur Erzeugung des STAF-Panels erforderlichen Eingangsenergie und der vom STAF-Panel über den Lebenszyklus erzeugten Energie. Recyceltes Material ist Material, das recycelt oder anderweitig verwendet und im Lebenszyklus des STAF-Panels verwendet werden kann. Andere Produkte sind jedoch Produkte, die im Lebenszyklus des STAF-Panels entstehen und nicht weiter spezifiziert wurden. Die Grenze des Lebenszyklusanalysesystems des STAF-Panels ist die Gewinnung von Rohstoffen, die Herstellung, Verwendung, Wartung und das Recycling des STAF-Panels.

2.6 Vorschlag zur Produktverbreitung

Unter Berücksichtigung der positiven Einstellung der Bevölkerung gegenüber klimafreundlichen Produkten und erneuerbarer Energie und dem stetigen Wachstum der Baubranche in der Programmregion, ergibt dies einen positiv gestimmten potentiellen Markt für das STAF-Paneel. Zusätzlich bietet die Programmregion mit einer durchschnittlichen jährlichen Sonneneinstrahlung von 1.100 kWh/m² einen großen Anwendungsbereich für das STAF-Paneel. [28]

Abgesehen vom Punkt des Klimaschutzes hat das Paneel noch weitere kundenfreundliche Eigenschaften. Das Paneel lässt sich in verschiedenen Größen, Farben und Fluidkanalgeometrien herstellen und ist somit auf die Wünsche des Kunden anpassbar. Es ist auch möglich das Paneel als Vorsatzschale zu verwenden um bestehende Gebäude mit der Technologie ausstatten zu können. Es muss aber erwähnt werden, dass die Installation des hydraulischen Systems der Paneele im Gebäude nur von ausgebildeten Fachkräften durchgeführt werden sollte, da bei unsachgemäßer Installation die Gefahr auf Schimmel und undichten Stellen sehr groß sein kann.

Auch wenn die Investitionskosten anfänglich höher sind als für die zurzeit verfügbaren Sandwichpaneele, lässt sich mit der gewonnenen solaren Energie Geld für das Heizen und Kühlen von Räumen und für die Warmwasserherstellung sparen. Man erhält ca. 43% der benötigten Energie eines Einfamilienhauses aus den integrierten STAF-Paneele.

Eine detaillierte Analyse aller Eigenschaften des Paneels wurde mittels der SWOT-Analyse, welche in Tabelle 10 dargestellt ist, durchgeführt.

Tabelle 10: SWOT-Analyse des STAF-Paneele

Strength	Weaknesses
Regelung des Raumklimas ohne großen Stromverbrauch	Position der Fensterausschnitte muss zuvor geplant werden
Personalisierbarkeit des Paneels • Verschiedene Paneelgrößen möglich • Aluminiumdeckschicht kann in den RAL-Farbtönen produziert werden • Dämmstoffe können je nach Anforderungen ausgewählt werden	Produktionsprozess noch nicht serienreif • Keine kontinuierliche Produktion • Limitiert in den Abmaßen der Absorber
Recyclebar (abhängig vom Dämmstoff)	Nachrüstung ist aufwendig
Als Dach- und Wandpaneel einsetzbar	Reparaturarbeiten sind von geschulten Personal durzuführen, speziell bei nicht sichtbar verschraubten Paneelen
Großer Anwendungsbereich • Hallenbau • Bürobau • Wohnbau • Spezialanwendungen (wie z.B. Kühlhäuser, Reinnräume)	Auf die Dichtheit der Kanäle und Schraubverbindungen muss beim Einbau geachtet werden.
Keine großen Adaptionen im Hallenbau notwendig	Größere Anfälligkeit für Schimmel
Brandschutzgeeignet (Mineralwolle)	Höherer Preis als Standartpaneele
Auch als Vorsatzschale verwendbar	
In bestehenden Bau als Vorsatzschale möglich	

Opportunities	Threats
Förderungen von energieeffizienten Gebäuden	Zögern von preissensitiven Kunden
Unabhängigkeit vom schwankenden Ölpreis	Sinkender Holzpreis
Verbote von neuen Ölheizungen	Günstigere Alternativen
Klimaziele der EU und von Österreich	
Interesse der Bevölkerung an erneuerbarer Energie [29]	
Wunsch der Bevölkerung von versorgungssicheren Energiequellen [30]	
Topografische Lage von Österreich und Slowenien => viele Sonnenstunden für die Energiegewinnung zur Verfügung [28]	

Zusammenfassend kann man sagen, auch wenn die Entwicklung des Produktionsprozesses noch nicht vollständig ausgereift ist, dass das Produkt ein großes Potential hat. Das Produkt entspricht den momentanen Bedürfnissen der Bevölkerung und lässt sich in die stetig wachsende Baubranche integrieren.

Im Zuge des Projektes ABS-Network wurde schon ein großer Schritt dahingehend durchgeführt, mit der Gründung eines Wissensnetzwerkes und der Veranstaltung von Geschäftstreffen. Durch diese Veranstaltungen war es dem Projektteam möglich das Paneel schon während seiner Entwicklungsphase potentiellen Endkunden, Kooperationspartner und Zwischenhändlern vorzustellen.

Die Verkaufsstrategie des STAF-Paneels wird der von Fenster- und Türenhersteller angenähert. Es wird an einem Standort Produktion und Entwicklung stattfinden und die Paneele werden durch Zwischenhändler dem Kunden verkauft. Mögliche Zwischenhändler bzw. Kooperationspartner sind Installationsunternehmen, Architekturbüros und Bauunternehmen, diese können mit dem Kunden die Konzepte planen und realisieren. Zusätzlich zu den Ausstellungsstücken bei den Zwischenhändlern wird es in strategisch positionierten Orten Schauräume der Paneele geben. In diesen Fachzentren können die Endkunden die verschiedenen Ausführungen in echt begutachten.

In diesen Schauräumen wird speziell ausgebildetes Personal arbeiten. Sie werden eine spezielle Ausbildung erhalten um nicht nur den Endkunden, sondern auch den Zwischenhändler fachlich beraten zu können. Es werden alle möglichen Beschichtungen, Dämmungen, Kanalverläufe und Einbaumöglichkeiten ausgestellt. In Abbildung 66 ist das Business Model des STAF-Paneels übersichtlich veranschaulicht. In dieser Darstellung werden alle möglichen Akteure, die für die Produktion und den Vertrieb des Paneels benötigt werden dargestellt.

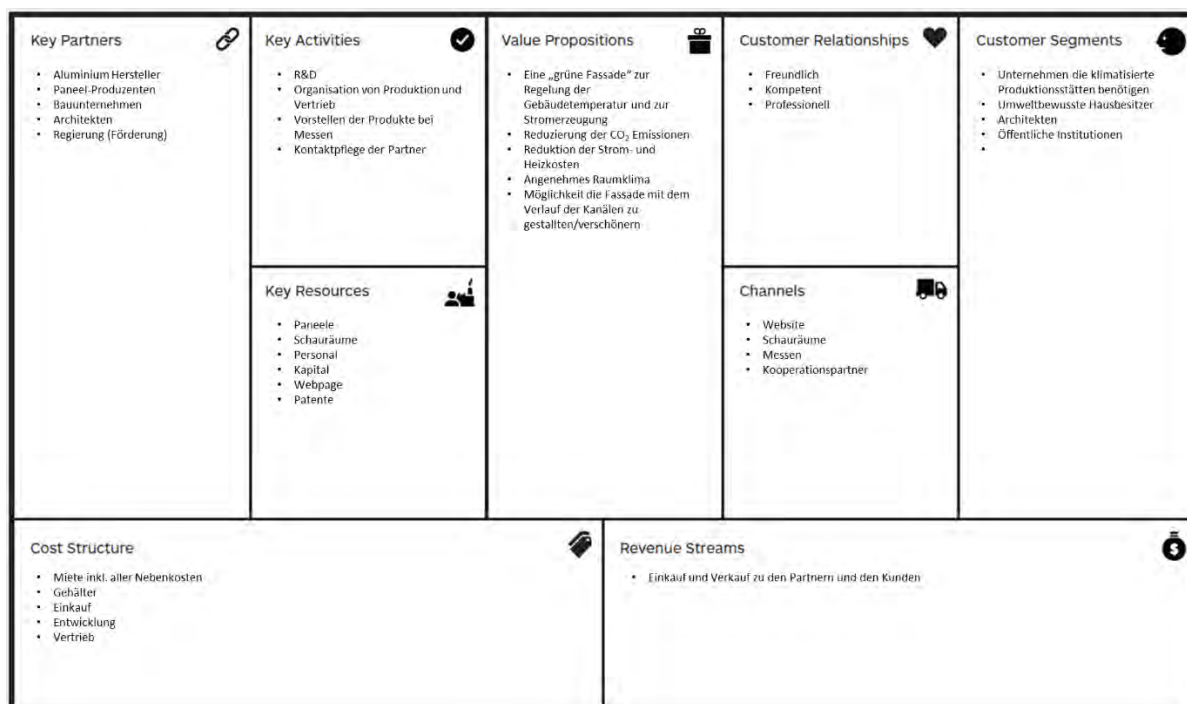


Abbildung 66: Business Model Canvas des STAF-Paneels

2.7 Konzeption und Herstellung des Prototyps (IHB)

Zur Veranschaulichung einer möglichen Fassadenintegration von STAF-Paneelen wurde seitens des Projektteams entschieden, einen Ausschnitt aus einer Pfosten-Riegel-Fassade, welche im modernen Verwaltungs- und Bürobau häufig eingesetzt wird, herzustellen. Der Prototyp sollte die praktische Umsetzbarkeit des Einbaues eines STAF-Paneels als energieumwandelndes System inkl. aller Versorgungsleitungen in ein bereits am Markt befindliches Fassadensystem belegen. Zwar existieren für Pfosten-Riegel-Fassaden bereits Lösungen, opake Elemente aus Sandwichpaneelen statt der üblichen 3-fach-Isolierglasscheiben zur Reduktion der Immissionsflächen einzubauen, jedoch sind diese zur Energieernte generell nicht geeignet. Durch die Ertüchtigung des Sandwichpaneels zum STAF-Paneel wird die auf die Fassade auftreffende Sonneneinstrahlung durch die Absorber in Wärmeenergie umgewandelt und über das Fluid abgeführt. Dadurch verringert sich der Energieeintrag in das Innere des Gebäudes, wodurch wiederum die sommerliche Überwärmung hintangehalten und der Kühlbedarf verringert wird.

Zuerst wurden seitens des Institutes für Hochbau die Konstruktionszeichnungen für den Prototyp - auch Demonstrator genannt - erstellt (Abbildung 67). Ausgehend von einem herkömmlichen Aluminiumprofilsystem (FW 40+) der Fa. Schüco mit einer Ansichtsbreite der Pfosten und Riegel von 40 mm, wurde ein STAF-Paneel mit einem Dämmkern aus Mineralwolle konzipiert, welches anstelle der Verglasung durch die Andruckleiste des Profils gehalten werden kann. Sowohl die Fluidkanäle der Absorber selbst als auch die Vor- und Rücklaufleitungen zu den Fluidkanälen sollten nicht sichtbar sein. Zu diesem Zweck wurden seitens der Fa. Talum d.d. die Absorberplatten aus Aluminium one-side-inflated mit bionischer Fluidkanalgeometrie und speziellen Außenabmessungen im Hinblick auf das darauffolgende Kanten der Bleche hergestellt. Die Vor- und Rücklaufleitungen für das STAF-Paneel wurden im Pfosten des Profilsystems (sog. E-Pfosten), welcher mit einer Deckschale für Revisionszwecke versehen ist, unsichtbar vom Innenraum untergebracht.

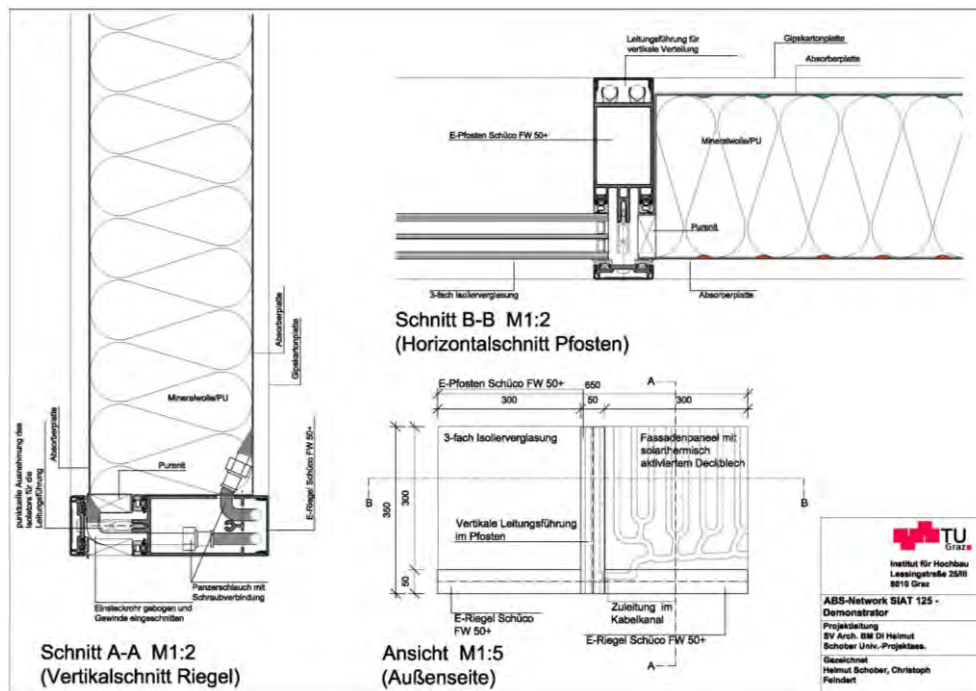


Abbildung 67: Konstruktionszeichnung für den Prototyp einer Pfosten-Riegel-Fassade mit integriertem STAF-Paneel.

Unmittelbar nach der Lieferung der Absorberbleche durch die Fa. Talum d.d. wurden selbige durch die Fa. Krobath Metallbau GmbH in Graz zu Kassetten gekantet (Abbildung 68). Die dafür erforderlichen Distanzklötze wurden aus Purenit hergestellt.



Abbildung 68: Aluminiumkassetten aus gekanteten Absorberblechen der Fa. Talum d.d. (noch ohne Dämmkern).

Anschließend wurden die Kassetten zur Fa. Brucha Ges.m.b.H. nach Michelhausen (Niederösterreich) geliefert, wo sie mit einem Dämmkern aus Mineralwolle versehen wurden. Danach wurden die (zu

diesem Zeitpunkt noch herkömmlichen) Sandwichpaneele in der Werkstatt der Fa. Jungwirth in Graz durch die Installation der Vor- und Rücklaufleitungen zu den Fluidkanälen zu STAF-Paneeelen komplettiert. Der Einbau der fertigen STAF-Paneele in das Pfosten-Riegel-System der Fa. Schüco wurde letztendlich wieder von der Fa. Krobath Metallbau GmbH durchgeführt. Die Abbildung 69 zeigt den fertigen Prototyp (Demonstrator) des STAF-Paneels, integriert in ein Pfosten-Riegel-Fassadensystem der Fa. Schüco.



Abbildung 69: STAF-Paneel als opakes Element in einem Pfosten-Riegel-Fassadensystem der Fa. Schüco (Prototyp)

3 Schaffung eines Wissensnetzwerkes

Ein begleitendes Hauptziel dieses Projektes ist die Schaffung eines Wissensnetzwerkes, dass in Form von einer gemeinsamen grenzübergreifende Plattform die Vernetzung bestehender F&E Institutionen mit jenen Industriebetrieben ermöglicht, die ein Interesse im Bereich F&E von STAF-Paneelen haben. Der Hauptzweck dieser Plattform ist es, dass Wissen, dass innerhalb von diesem Projekt generiert wurde, weiter zu Nutze gemacht wird und so auch das Innovationspotential von anderen Stakeholdern in der Programmregion gesteigert wird. Das ABS Network Wissensnetzwerk basiert auf zwei Grundelementen, die auch durch digitale Medien unterstützt werden:

3.1 Die Geschäftstreffen

Im Rahmen des ABS Network Projektes haben – so wie es geplant war – insgesamt 5 Geschäftstreffen stattgefunden:



Abbildung 70: Businessmeeting 30.05.2018 – Maribor, Slowenien



Abbildung 71: Businessmeeting 02.10.2018 – Graz, Österreich



Abbildung 72: Businessmeeting 22.11.2018 – Laško, Slowenien



Abbildung 73: Businessmeeting 05.02.2019 – Graz, Österreich



Abbildung 74: Businessmeeting 12.06.2019 – Maribor, Slowenien

Konzept der Geschäftstreffen:

Alle Geschäftstreffen wurden auf folgenden Inhaltsschwerpunkten aufgebaut:

- ☑ Präsentation der Programs Interreg V-A Slowenien – Österreich,
- ☑ Präsentation des ABS Network Projektes,
- ☑ Präsentation der F&E Aktivitäten der Projektpartner,
- ☑ Aktives Networking und Konzipierung möglicher gemeinsamer Projekte in der Zukunft.

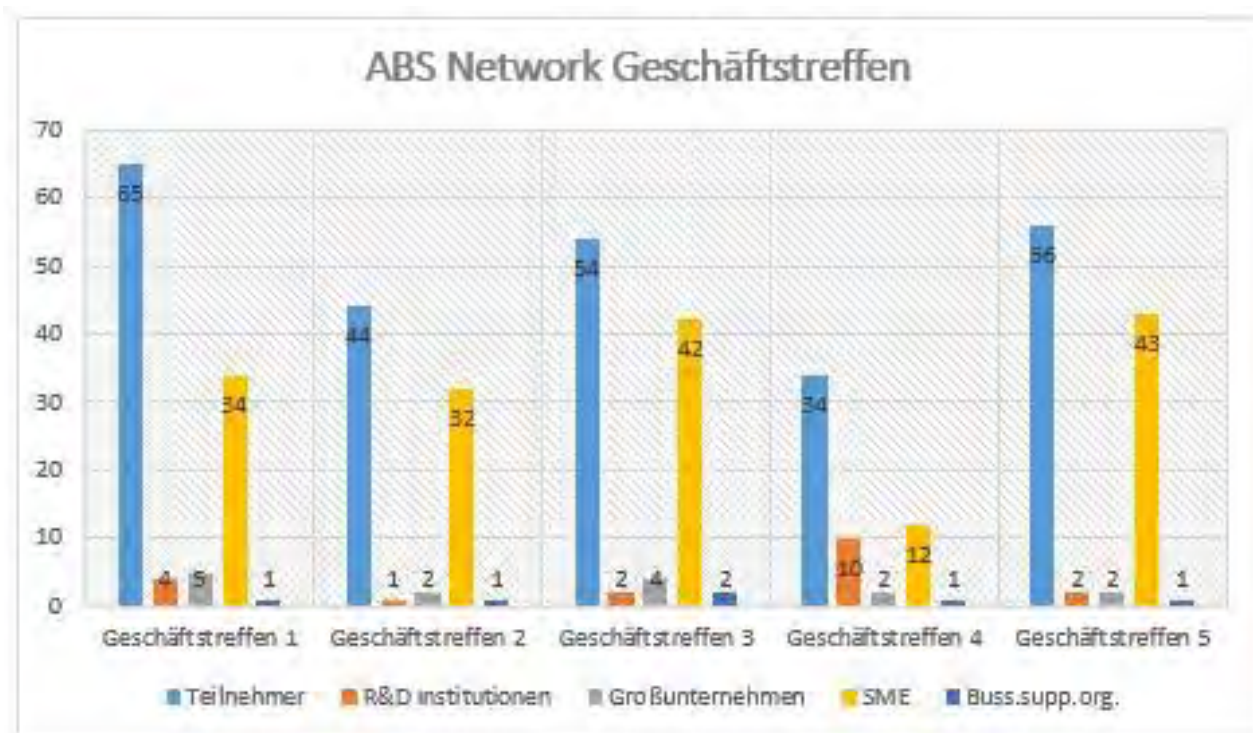
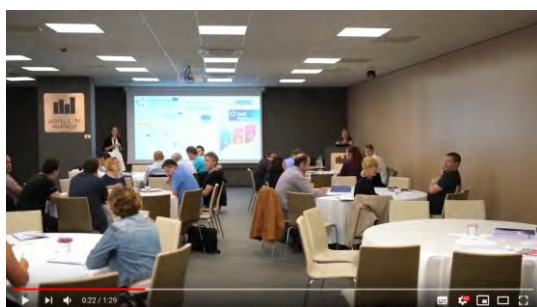


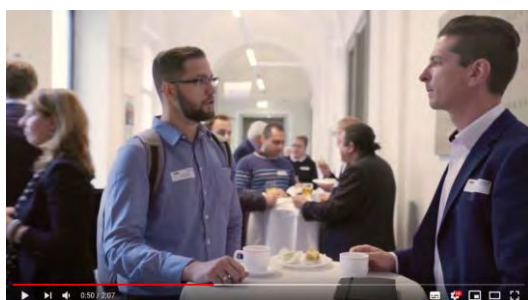
Abbildung 75: ABS Network Geschäftstreffen

Zusätzlich haben wir noch – obwohl es innerhalb vom Projekt nicht geplant war – 2 Promotionsvideos vorbereitet, die sich als ein effizientes Marketing-Tool erwiesen haben. Beide Videos sind auch mit Untertiteln versehen.

[Video 1](#) – Konsortium Partner stellen das Projekt vor:



[Video 2](#) – Eindrücke der Teilnehmer:



3.2 Das Wissensnetzwerk

Grundlegend für das Wissensnetzwerk ist die Website des Projekts. Dort haben alle interessierten Stakeholder Zugang zu relevanten Informationen, die während der Geschäftstreffen präsentiert wurden. Zusätzlich sind in diesem Abteil der Website einige wichtige Unterlagen zum Projekt zugänglich. Dazu werden dort auch Inhalte anderer Autoren veröffentlicht, die indirekt zum Thema STAF Panel beitragen und einen erweiterten Wissenstransfer ermöglichen. Aus direktem Kontakt mit allen relevanten Teilnehmern geht hervor, dass direkter Kontakt mit den Konsortium Partnern bevorzugt wird und an öffentlichen Diskussionen nicht viel Interesse besteht. Deswegen wurde auch das Konzept des Wissensnetzwerks, wie es ursprünglich geplant wurde, abgeändert, um das Interesse am Projekt und damit verbundenen Themen aufrecht zu erhalten.

4 Kommunikation (TikoPro und TU Graz)

Alle Kommunikationsaktivitäten im Rahmen des Projektes folgten dem Kommunikationsplan, der am Anfang des Projekts vom WP C Leadpartner Tiko Pro d.o.o. vorbereitet wurde und von den Konsortialpartnern bestätigt wurde.

4.1 Soziale Netzwerke und Webseite (TikoPro)

Die Projekt Webseite ist in 3 Sprachvarianten zugänglich: Slowenisch, Deutsch und Englisch und ist in folgende Kategorien untergegliedert:

- ☒ Allgemein informationen über das Projekt
- ☒ Präsentation der Konsortialpartner
- ☒ Das Wissensnetzwerk
- ☒ Pressemitteilungen
- ☒ Kontakt

Über die Eingangsseite sind auch die aktuellsten News und das Newsarchiv zu erreichen:

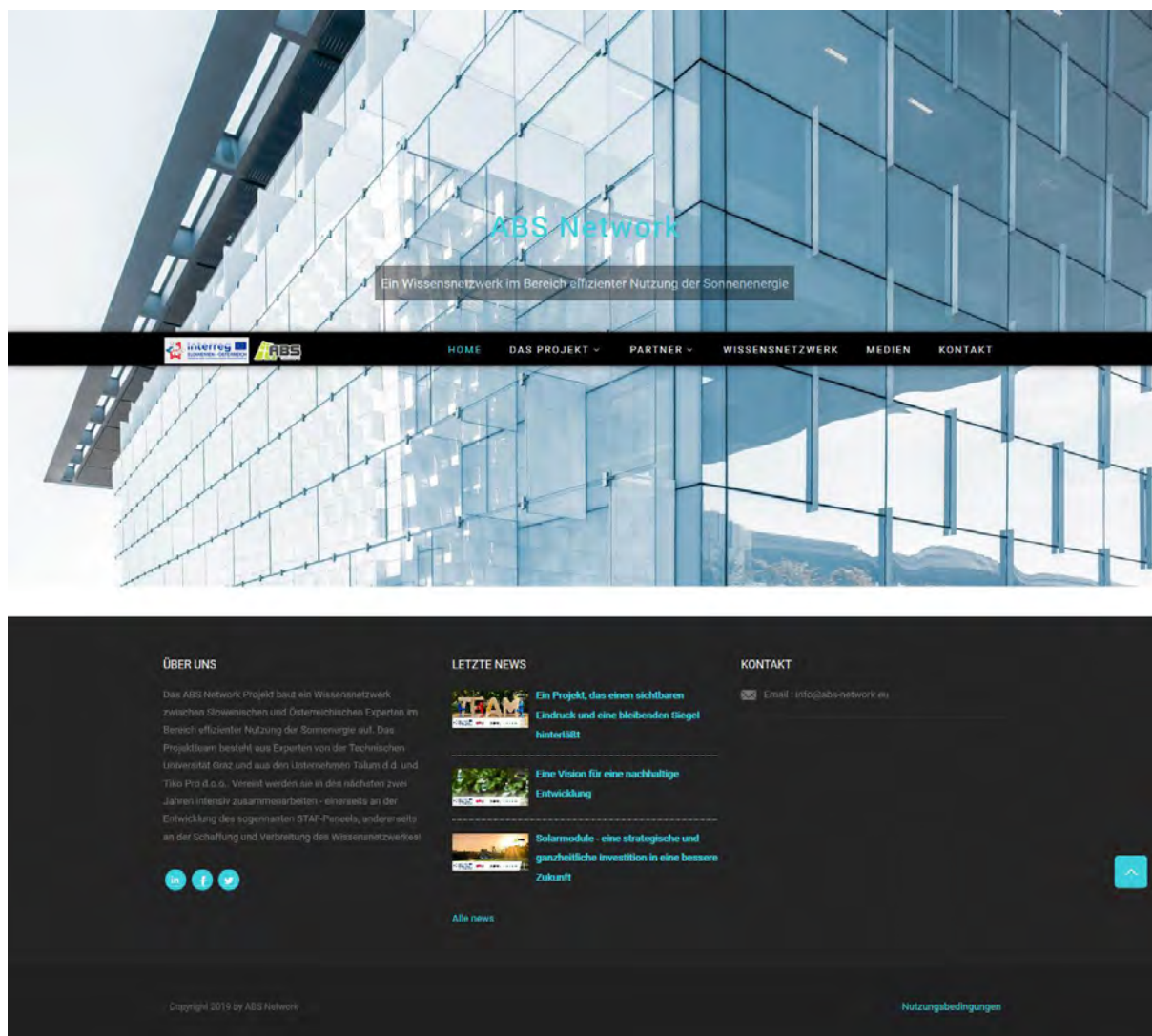


Abbildung 76: ABS Network Website

Webseite Statistiken:

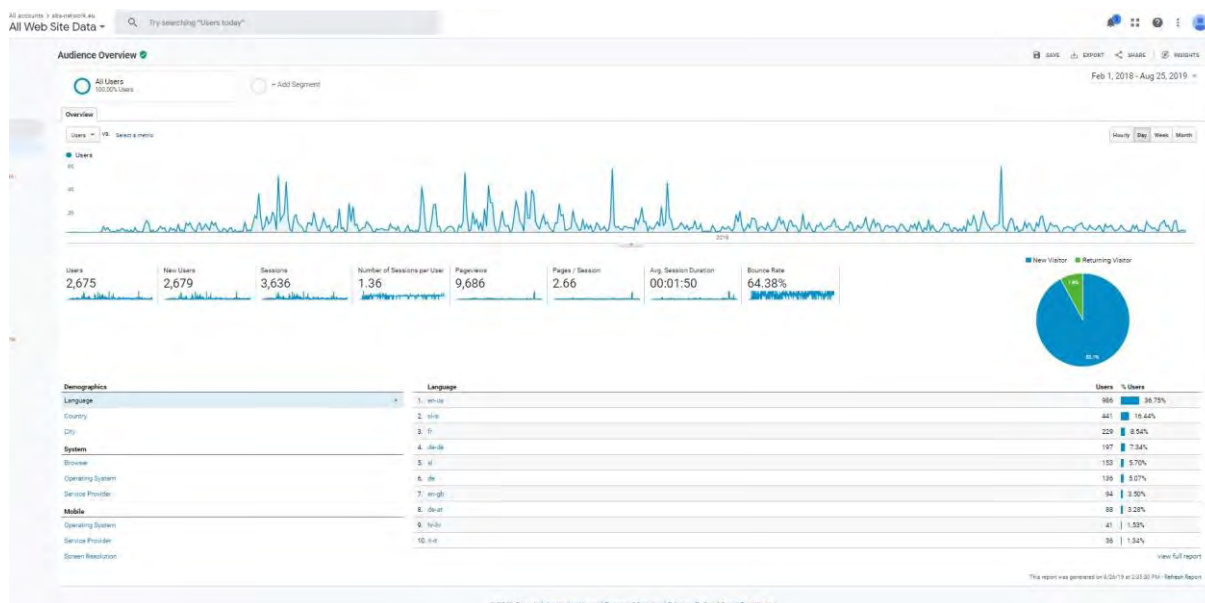


Abbildung 77: Website Statistiken

4.2 Pressekonferenzen (TikoPro)

Im Rahmen des Projektes haben – wie geplant – 2 Pressekonferenzen stattgefunden:



Abbildung 78: Pressekonferenz 1 – 11.10.2017 an der TU Graz:

An der ersten Pressekonferenz wurde das Projekt und vorgesehenen Resultate vorgestellt. Die Sprecher waren (von links): prof. Kautsch (TU Graz), prof. Sommitsch (TU Graz), DI Helmut Schober (TU Graz, ABS Network Team), dr. Stanislav Kores (Talum d.d.) und Mateja Kramberger (Tiko Pro). Die Pressekonferenz wurde in Zusammenarbeit mit der PR Abteilung der TU Graz organisiert. Überwiegend anwesend waren österreichische Journalisten, die das Thema regional präsentiert haben. Artikel über das Projekt von folgenden Medien übernommen und publiziert: ORF (regionale Niederlassungen), Štajerska gospodarska zbornica, STA



Abbildung 79: Pressekonferenz 2 – 12.06.2019 im Rahmen des 5. Geschäftstreffens:

Bei der zweiten Pressekonferenz wurden die Projektergebnisse und das STAF Panel vorgestellt. Die Sprecher waren: Dr. Josef Domitner (TU Graz), dr. Janko Ferčec (Talum d.d.) und Mateja Sedlašek (Tiko Pro d.o.o.). Seitens der Journalisten waren überwiegend Stellvertreter lokaler und regionaler Medien anwesend und haben Beiträge über das Projekt und über das STAF Panel Prototyp publiziert in / auf: Radio Maribor – euranet (ein 30-minütiger Beitrag!), Radio Si, MB Report, STA, Radiostudio der ungarischen Programme

4.3 Allgemeine Artikel über das Projekt (TikoPro)

Allgemeine Artikel über das Projekt wurden in diversen Magazinen veröffentlicht:



Abbildung 80: Magazin „Aluminij“ 5-6/2019

Tako sta slovenski podjetji z avstrijskim partnerjem za inovativno idejo dobili evropski denar

Čas branja: 2 min

21.08.2018 17:00

Tehniška univerza v Gradcu, Talam in Tiko Pro bodo za projekt razvoja STAF-panela dobili skoraj 700 tisoč evrov subvencije



ANJA ZALETEL



Abbildung 81: Magazin „Finance“ vom 21.8.2018



Abbildung 82: Magazin „MontelEnergetika.net“ vom 25.6.2018



Abbildung 83: Magazin „Steirische Wirtschaft“, vom September 2018

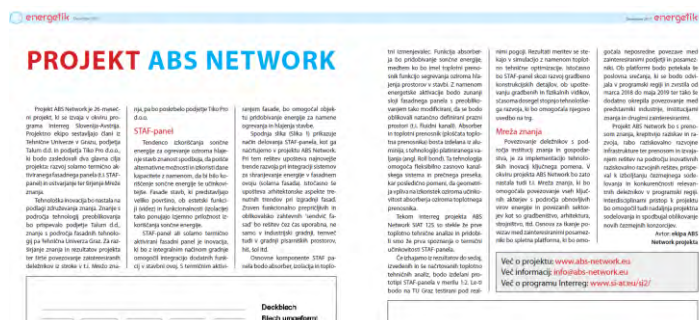


Abbildung 84: Magazin „Energetik“ vom Dezember 2017

4.4 Projektvorstellung an Fachkonferenzen

Das ABS-Network Projektteam hat während der Projektdauer das Projekt an 6 Fachkonferenzen/Tagungen vorgestellt. Die ersten Konferenzen fanden im Juni 2018 statt. Der erste Beitrag wurde bei den 10. Ranshofner Leichtmetalltagen von 13.-14.Juni 2018 vorgestellt. Fast zeitgleich am 14.06.2018 fand an der TU Graz der Buildings and Energy Day statt bei dem ein Projektposter die Teilnehmer über das Projekt informierte. Bei dem 7. Symposium über angewandte Elektromagnetik hat Prof. Jurij Avsec der Universität Maribor die mit dem ABS-Networkteam erstellte Studie vorgestellt. Die Konferenzbeiträge sind in Abbildung 85 dargestellt.

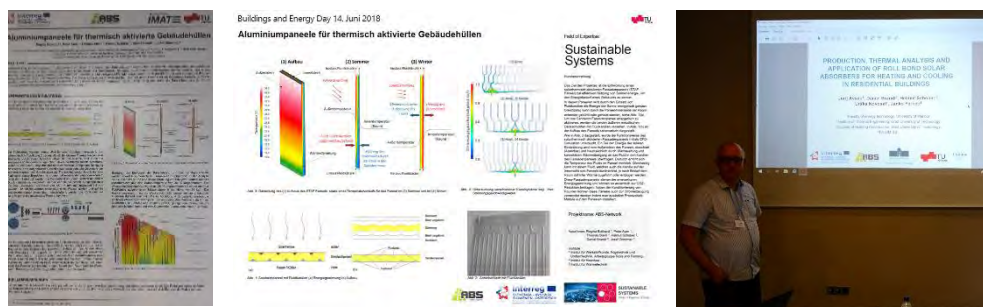


Abbildung 85: Konferenzbeiträge im Juni 2018

Im Herbst 2018 war es dem Projektteam möglich an zwei weiteren Konferenzen teilzunehmen. Die erste hat von 3.-5. Oktober 2018 in Graz stattgefunden. Bei der International Sustainable Energy Conference wurde ein Poster über Zwischenergebnisse des Projektes von Herrn Dipl.-Ing. Helmut Schober vorgestellt. Die nächste Konferenz, an der das STAF-Panel den Teilnehmern erklärt wurde, war die FACADE 2018. Diese Konferenz hat von 26.-27. November 2018 in Luzern stattgefunden. Herr Dr. Daniel Brandl hat den Vortrag bei der FACADE 2018 gehalten. Fotos von den Vortragenden bei den Konferenzen sind in Abbildung 86 zusammengefasst.

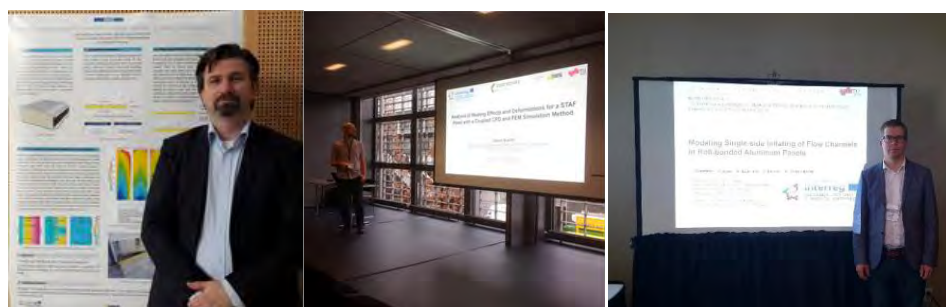


Abbildung 86: Konferenzbeiträge im Herbst 2018 und NUMIFORM 2019

Die letzte Konferenz an der das ABS-Network Projektteam in den Berichtszeiträumen teilgenommen hat war die NUMIFORM 2019. Diese Konferenz fand von 23.-27. Juni 2019 in Portsmouth, New Hampshire statt. An dieser Konferenz hat Herr Peter Auer das Projekt den Teilnehmern vorgestellt. Ein Foto von Herrn Auer bei der Konferenz befindet sich in Abbildung 86.

4.5 Wissenschaftliche Artikel

Während der Projektdauer wurden fünf wissenschaftliche Artikel über das ABS-Network Projekt verfasst. Zwei Artikel wurden in wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert und die weiteren als Konferenzberichten. Ein Beitrag wird erst im November 2019 veröffentlicht. Eine detaillierte Auflistung der Veröffentlichungen ist in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Liste der wissenschaftlichen Veröffentlichungen des ABS-Network Projektes

Titel	Erscheinungsdatum	Veröffentlicht in
Production, thermal analysis and application of roll bond solar absorbers for heating and cooling in residential buildings	07.06.2018	Conference Proceedings of the 7 th international symposium on applied electromagnetics
Analysis of Heating Effects and Deformations for a STAF Panel with a Coupled CFD and FEM Simulation Method	26.11.2018	Journal of Façade Design & Engineering
Thermal analysis and application of roll bond solar absorbers for heating and cooling in residential buildings	01.04.2019	Journal of Energy Technology
Modeling single-side inflating of flow channels in roll-bonded aluminum panels	23.06.2019	Conference Proceedings of the NUMIFORM 2019
LC-Analysis of STAF Panels and their Application for Heating, Cooling and Hydrogen Production	04.11.2019	Conference Proceeding of the ISES 2019

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Konventionelles Sandwichpaneele hergestellt von die Fa. Brucha GmbH bestehend aus zwei mikroprofilierten Deckblechen aus Stahl und einem Dämmkern aus Polyurethanschaum.	3
Abbildung 2: Solarthermisch aktiviertes Sandwichpaneel mit Fluidkanälen zur Energieernte an seiner Außenseite und Konditionierung der Innenräume an seiner Innenseite.....	4
Abbildung 3: Querschnitt des solarthermisch aktivierten Sandwichpaneels (vier Bleche) - jeweils ein ebenes und ein umgeformtes Deckblech bilden die Fluidkanäle aus	4
Abbildung 4: Umformung durch Roll-Bonding: Roll-bond Absorber der Fa. Savosolar (Finnland) mit FracTherm-Kanalstruktur des Fraunhofer-Institutes für Solare Energiesysteme ISE. [1]	5
Abbildung 5: Solarthermisch aktiviertes Sandwichpaneel mit mäanderförmigem Fluidkanalverlauf (Rendering).	5
Abbildung 6: Umrüsten des Baucontainers zum Prüfcontainer - Öffnungen in der Containerlängswand	8
Abbildung 7: Auszug aus dem Einreichplan für den Prüfcontainer.....	9
Abbildung 8: Fixierung der STAF-Paneele an der Innenseite des Prüfcontainers mittels gekanteten Stahlblechen. Zu erkennen ist auch die noch nicht verschlossene, rundumlaufende Bauanschlussfuge.	9
Abbildung 9: Außenansicht des Prüfcontainers mit 5 eingebauten STAF-Paneeelen (Prüfkörper) jeweils mit umlaufender diffusionsoffener Folie (schwarz). Die Nummern bezeichnen die jeweilige Einbauposition.....	10
Abbildung 10: Fluidkanalgeometrien (von links nach rechts): Wabe auf Position (1) und (2), Harfe mit 14 Kanälen auf Position (3), Harfe mit 14 Kanälen und gestufter, horizontaler Fluidverteilung auf Position (4), Bionik auf Position (5).	10
Abbildung 11: Foto des Versuchscontainers an der TU Graz, Schema der eingebauten STAF-Paneel-Varianten und Foto des Containerinneren mit der hydraulischen Anbindung der Paneele zur Rückkühlung bzw. Aufheizung.....	11
Abbildung 12: Darstellung des Hydraulik- und Messschemas für den Versuchscontainer.....	11
Abbildung 13: Vergleich der Temperaturverteilung zwischen vier STAF Paneel Varianten, aufgenommen mit einer Thermografie Kamera.	12
Abbildung 14: Auswertung der gemessenen Fluidaustrittstemperaturen, des Volumenstroms, der Temperatur im Container, der Außentemperatur und der Oberflächentemperatur am Referenzpaneel vom 01.-21.05.2019.	12
Abbildung 15: Auswertung der gemessenen Wärmeleistung und der Globalstrahlung vom 01.-21.05.2019.....	13
Abbildung 16: Vergleich der gemessenen Fluidaustrittstemperaturen zwischen den vier im Versuchscontainer integrierten STAF Paneel Varianten vom 02.-04.05.2019.....	13
Abbildung 17: Vergleich der gemessenen Wärmeleistung zwischen den vier im Versuchscontainer integrierten STAF Paneel Varianten vom 02.-04.05.2019.....	14
Abbildung 18: Darstellung des CFD Berechnungsnetz eines Absorberbleches, wie es in den STAF Paneelen verwendet wird.	15
Abbildung 19: Darstellung der Temperaturkonturen aus der CFD Analyse des Einflusses des Querschnitts und des Kanalabstands auf die Fluidaustrittstemperatur.	15
Abbildung 20: Vergleich der Temperaturkonturen am Außenblech eines STAF Paneels von 1.75 x 0.5 m bei unterschiedlichen Fluidkanalquerschnitten und –abständen.	17
Abbildung 21: Vergleich der Temperaturkonturen an der Absorber Außenseite bei unterschiedlichen Fluidkanal designs.	18

Abbildung 22: Vergleich der Konturen des Wasserdrucks an der Mantelinnenfläche des Rohres.	19
Abbildung 23: Temperaturkonturenaus der simulierten Basis Variante eines 3,5 x 1,0 m STAF Paneels mit der 14 Kanal Harfen Fluidkanalführung.	20
Abbildung 24: Vergleich der Temperaturkonturen am Absorber zwischen abgedecktem und nicht abgedecktem STAF Paneel bei sommerlichen Bedingungen.	22
Abbildung 25: Vergleich der Temperaturkonturen am Absorber zwischen abgedecktem und nicht abgedecktem STAF Paneel bei winterlichen Bedingungen.	22
Abbildung 26: Vergleich der STAF Paneel Kollektorkennlinien mit den Kennlinien für am Markt erhältliche Kollektoren.	23
Abbildung 27: Rollbonding Prozess – Siebdruck, Erwärmung, Warm-Walzen, Kühlen und Beschnitt.	24
Abbildung 28: Rollgebondeter Aluminiumabsorber, Gesamtansicht und Detail des Kanalquerschnitts.	25
Abbildung 29: PamStamp Simulation von „kleineren“ Strukturen.	25
Abbildung 30: Simulationsmodell – Aufblasen von Kühlkanälen rollgebondeter Paneele, LsPrePost/LsDyna GUI.	26
Abbildung 31: Kanalgeometrie in Querschnittsdarstellung.	27
Abbildung 32: Geometrie des simulierten Absorbers, Darstellung der Vernetzung.	27
Abbildung 33: Zugversuche für EN AW-1050 und AA-1250.	28
Abbildung 34: Materialkennwerte für EN AW-1050 und AA-1250.	28
Abbildung 35: CPM - corpuscular particle method.	29
Abbildung 36: Konstanter Massenfluss/Zeit zum Aufblasen der Kühlkanäle an 2 unterschiedlichen Simulationsvarianten.	29
Abbildung 37: Prozessparameter und Materialparameter „trockene Luft“ an 2 unterschiedlichen Simulationsvarianten.	30
Abbildung 38: Simulationsergebnis wirksamer Innendruck.	30
Abbildung 39: Simulationsergebnis Gesamtvolumen aufgeblasener Kanal.	30
Abbildung 40: Aufblasen Kanal durch gasförmiges Wirkmedium - Animation Beginn.	31
Abbildung 41: Aufblasen Kanal durch gasförmiges Wirkmedium - Animation Mitte.	31
Abbildung 42: Aufblasen Kanal durch gasförmiges Wirkmedium - Animation Ende.	31
Abbildung 43: Vergleich Innenkontur des Kanals aus der Simulation mit realem Querschnitt.	32
Abbildung 44: Vergleich Innenkontur des Kanals aus der Simulation (Beispiel Variante 1 und 2) mit realem Querschnitt.	32
Abbildung 45: Ermittelte Grenzformänderungskurve für Material EN AW-1050.	33
Abbildung 46: Beispielhafter Vergleich Simulationsergebnisse Nr1 oberes Blech mit FLC EN AW-1050 - Gutbauteil.	33
Abbildung 47: Beispielhafter Vergleich Simulationsergebnisse Nr2 oberes Blech mit FLC EN AW-1050 – Versagen inForm eines Risses.	33
Abbildung 48: Simulationsergebnis Bauteildicke („Shell Thickness“).	34
Abbildung 49: Durchschnittliche jährliche globale Sonneneinstrahlung - Österreich.	35
Abbildung 50: Durchschnittliche jährliche globale Sonneneinstrahlung - Slowenien.	36
Abbildung 51: Screenshot (1) aus der IDA-ICE Simulationsoberfläche während der Modellierung, (2) während der Verschattungsberechnung, (3) während der Definition des STAF Paneels, (4) aus „Google Maps“ zur Darstellung des realen Standorts.	38
Abbildung 52: Hochbaudetail (Horizontalschnitt) einer Pfosten-Riegel-Fassade mit Glas- und STAF-Paneelfeld als Grundlage für die hygrothermische Simulation mit „AnTherm“.	39
Abbildung 53: Simulationsmodell als Vereinfachung der realen Bauteilgeometrie.	39
Abbildung 54: Isothermen der Variante A in AnTherm V.9.136.0, Horizontalschnitt.	41
Abbildung 55: Isothermen der Variante A in AnTherm V.9.136.0, Schrägriss.	41

Abbildung 56: Pfosten-Riegel-Fassade der Fa. Schüco mit Dreifach-Isolierverglasung. [24].....	42
Abbildung 57: Pfosten-Riegel-Fassadensystem mit STAF-Paneelen und eingezeichneten Fluidkanalverläufen, Ansicht.	43
Abbildung 58: Elementfassade der Fa. Schüco mit Zweifach-Isolierverglasung. [25].....	43
Abbildung 59: Elementfassade mit STAF-Paneelen und eingezeichneten Fluidkanalverläufen, Ansicht.	44
Abbildung 60: Elementstoß zweier Sandwichpaneele mit mikroprofilierter Oberfläche bei vertikaler Verlegung. [26].....	44
Abbildung 61: Fassade aus STAF-Paneelen bei vertikaler Verlegung mit eingezeichneten Fluidkanalverläufen, Ansicht.	45
Abbildung 62: Adapterprofil zur Aufnahme der Vor- und Rücklaufleitungen für das STAF-Paneel, Horizontalschnitt.	45
Abbildung 63: Kassettenfassade aus gekanteten Aluminiumblechen. [27].....	46
Abbildung 64: Kassettenfassade aus STAF-Paneelen mit eingezeichneten Fluidkanalverläufen, Ansicht.	46
Abbildung 65: Horizontalschnitt (links) und Vertikalschnitt (rechts) durch eine vorgehängte, hinterlüftete Kassettenfassade aus STAF-Absorbern.....	47
Abbildung 66: Business Model Canvas des STAF-Paneels.....	51
Abbildung 67: Konstruktionszeichnung für den Prototyp einer Pfosten-Riegel-Fassade mit integriertem STAF-Paneel.....	52
Abbildung 68: Aluminiumkassetten aus gekanteten Absorberblechen der Fa. Talum d.d. (noch ohne Dämmkern).....	52
Abbildung 69: STAF-Paneel als opakes Element in einem Pfosten-Riegel-Fassadensystem der Fa. Schüco (Prototyp)	53
Abbildung 70: Businessmeeting 30.05.2018 – Maribor, Slowenien	54
Abbildung 71: Businessmeeting 02.10.2018 – Graz, Österreich	54
Abbildung 72: Businessmeeting 22.11.2018 – Laško, Slowenien.....	55
Abbildung 73: Businessmeeting 05.02.2019 – Graz, Österreich	55
Abbildung 74: Businessmeeting 12.06.2019 – Maribor, Slowenien	55
Abbildung 75: ABS Network Geschäftstreffen	56
Abbildung 76: ABS Network Website	58
Abbildung 77: Website Statistiken	59
Abbildung 78: Pressekonferenz 1 – 11.10.2017 an der TU Graz:.....	59
Abbildung 79: Pressekonferenz 2 – 12.06.2019 im Rahmen des 5. Geschäftstreffens:	60
Abbildung 80: Magazin „Aluminij“ 5-6/2019	60
Abbildung 81: Magazin „Finance“ vom 21.8.2018.....	61
Abbildung 82: Magazin „MontelEnergetika.net“ vom 25.6.2018	61
Abbildung 83: Magazin „Steirische Wirtschaft“, vom September 2018	61
Abbildung 84: Magazin „Energetik“ vom Dezember 2017.....	61
Abbildung 85: Konferenzbeiträge im Juni 2018	62
Abbildung 86: Konferenzbeiträge im Herbst 2018 und NUMIFORM 2019	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: : Ergebnisse der Wärmetechnischen Analyse der Fluidkanalquerschnitte von Talum d. d.	16
Tabelle 2: Wasseraustrittstemperatur und Wärmeleistung für verschiedene Absorbervarianten mit 1,75 x 0,5 m Abmessung.....	17
Tabelle 3: Vergleich der thermischen und strömungstechnischen Parameter bei unterschiedlichen Fluidkanal designs.	18
Tabelle 4: Variantenauswertung der Druckdifferenzsimulation	19
Tabelle 5: Ergebnisse aus der Analyse eines 3,5 x 1,0 m STAF Paneels mit der 14 Kanal Harfen Fluidkanalführung.....	21
Tabelle 6: Ergebnisse aus der Parameteranalyse für ein abgedecktes und nicht abgedecktes STAF Paneel mit 3,5 X 1, 0 m.....	23
Tabelle 7: Auswertung und Vergleich der Ergebnisse aus der IDA-ICE Gebäude Simulation.	38
Tabelle 8: Wärmeleitfähigkeit λ der verwendeten Baustoffe.....	40
Tabelle 9: Randbedingungen und Wärmeübergangswiderstände.....	40
Tabelle 10: SWOT-Analyse des STAF-Paneels	49
Tabelle 11: Liste der wissenschaftlichen Veröffentlichungen des ABS-Network Projektes.....	63

Literaturverzeichnis

- [1] „Savosolar,“ 2015. [Online]. Available: <http://www.savosolar.fi/en/products/fractherm-collectors>.
- [2] Amtsblatt der Europäischen Union, *Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates*, 9. März 2011.
- [3] Amtsblatt der Europäischen Union, *Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden*, 19. März 2010.
- [4] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OIB-Richtlinien 1-6*, März 2015.
- [5] ANSYS Fluent 17.0. Userguide/Theoryguide.
- [6] UNAB - Umsetzung nachhaltigen Bauens durch optimierte Projektsteuerungsprozesse und integrale Gebäudehüllen, Technische Universität Graz, 2016.
- [7] Talum, Tovarna aluminija d. d. Kidričevo.
- [8] M. Hörtenhuber, Konstruktion, Aufbau und Inbetriebnahme eines Versuchsstandes zur Ermittlung des thermischen Verhaltens eines integralen Fassadenelementes, Graz: Technische Universität Graz, 2017.
- [9] B. Daniel, S. Helmut und H. Christoph, „Analysis of Heating Effects and Deformations for a STAF Panel with a Coupled CFD and FEM Simulation Method,“ *Journal of Facade Design & Engineering*, Bd. 6, Nr. 3, pp. 116-131, 2018.
- [10] J. Avsec, D. Brandl, H. Schober, U. Novosel und J. Ferčec, „Thermal analysis and application of roll bond solar absorbers for heating and cooling in residential buildings“.
- [11] J. Avsec, D. Brandl, H. Schober, D. Strušnik, U. Novosel und J. Ferčec, „LCA Analysis of STAF Panels and their Application for Heating; Cooling and Hydrogen Production,“ *ISES 2019*, 2019.
- [12] <http://www.spf.ch/Kollektoren.111.0.html>.
- [13] Olson DL, Siewert TA, Liu S und Edwards GR, ASM Handbook Vol. 6 Welding, Brazing and Soldering, ASM International, Materials Park, Ohio, USA.
- [14] Yan H und Lenard JG, „A study of warm and cold roll-bonding of an aluminium alloy,“ *Mater. Sei. Eng. A385*: 419-428, 2004.
- [15] Yan HZ, „Key factors for warm rolled bond of 6111-aluminium strip,“ *Trans. Nonferr. Met. Soc. China* 16, pp. 84-90, 2006.
- [16] Eizadjou M, Danesh Manesh H und Janghorban K, „Investigation of roll bonding between aluminum alloy strips,“ *Mater. Design* 29, pp. 909-913, 2008.

- [17 E. M, D. M. H und J. K, „Mechanism of warm and cold roll bonding of aluminum alloy strips,”
] *Mater. Design* 30, pp. 4156-4161.
- [18 Sun X, Wu J, Dai Y und Wang R, „Experimental study on roll-bond collector/evaporator with
] optimized channel used in direct expansion solar assisted heat pump water heating system,”
Appl. Thermal Eng. 66:, pp. 571-579, 2014.
- [19 Brandl D, Schober H und Hochenauer C, „Analysis of Heating Effects and Deformations for a STAF
] Panel with a Coupled CFD and FEM Simulation Method,” *J. Façade Des. Eng.* 6(3), pp. 116-131.
- [20 Swift HW, „Plastic instability under plane stress,” *J. Mech. Phys. Solids* 1, pp. 1-18, 1952.
]
- [21 Barlat F und Lian K, „Plastic behavior and stretchability of sheet metals. Part I: A yield function for
] orthotropic sheets under plane stress conditions,” *Int. J. Plast.* 5, pp. 51-66, 1989.
- [22 Olovsson L, „Corpuscular method for airbag deployment simulations in LS-DYNA,” *Report R32S-*
] *1, IMPETUS Afea AB, Huddinge, Sweden, 2007.*
- [23 Wang J und Teng H, „The Recent Progress and Potential Applications of CPM Particle Method in
] LS-DYNA,” *Proc. 9th LS-DYNA Forum*, pp. D-III-23-31, 2010.
- [24 [Online]. Available: [https://www.dbz.de/artikel/dbz_Pfosten-Riegel-_und_Element-](https://www.dbz.de/artikel/dbz_Pfosten-Riegel-_und_Element-Fassaden_Vergleich_und_Bewertung_3222410.html)
] [Fassaden_Vergleich_und_Bewertung_3222410.html](https://www.dbz.de/artikel/dbz_Pfosten-Riegel-_und_Element-Fassaden_Vergleich_und_Bewertung_3222410.html). [Zugriff am 10 07 2019].
- [25 [Online]. Available:
] https://www.schueco.com/web2/de/architekten/produkte/fassaden/elementfassaden/schueco_usc_65/. [Zugriff am 10 07 2019].
- [26 [Online]. Available: [https://www.bruchapaneel.com/produkte/wandfassade/pir-](https://www.bruchapaneel.com/produkte/wandfassade/pir-wandfassade/Panels/entry/show/bruchapaneel-fp-p.html)
] [wandfassade/Panels/entry/show/bruchapaneel-fp-p.html](https://www.bruchapaneel.com/produkte/wandfassade/pir-wandfassade/Panels/entry/show/bruchapaneel-fp-p.html). [Zugriff am 10 07 2019].
- [27 [Online]. Available: [https://www.polantis.com/de/enveloppe-metallique/overcladding-with-](https://www.polantis.com/de/enveloppe-metallique/overcladding-with-steel-or-aluminium-cassettes-with-insulation)
] [steel-or-aluminium-cassettes-with-insulation](https://www.polantis.com/de/enveloppe-metallique/overcladding-with-steel-or-aluminium-cassettes-with-insulation). [Zugriff am 10 07 2019].
- [28 Fakulteta za energetiko Univerze v Mariboru, „Nutzung der STAF-Paneele zum Heizen,” Maribor,
] 2018.
- [29 Statista GmbH, „Statista - Umfrage zur Meinung zu Arten der Energieerzeugung in Österreich,”
] [Online]. Available: [https://de.statista.com/statistik/daten/studie/868137/umfrage/umfrage-](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/868137/umfrage/umfrage-zur-meinung-zu-arten-der-energieerzeugung-in-oesterreich/)
[zur-meinung-zu-arten-der-energieerzeugung-in-oesterreich/](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/868137/umfrage/umfrage-zur-meinung-zu-arten-der-energieerzeugung-in-oesterreich/). [Zugriff am 21 02 2019].
- [30 Statista GmbH, „Statista - Probleme bei der Umsetzung der Energiewende,” [Online]. Available:
] [https://de.statista.com/statistik/daten/studie/861110/umfrage/umfrage-zu-problemen-bei-](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/861110/umfrage/umfrage-zu-problemen-bei-der-umsetzung-der-energiewende/)
[der-umsetzung-der-energiewende/](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/861110/umfrage/umfrage-zu-problemen-bei-der-umsetzung-der-energiewende/). [Zugriff am 21 02 2019].

BERICHT DER ERWEITERTEN WISSENSBASIS

Hauptoutput des Projekts O.T1.4

ŠTUDIJA PRIDOBLENIH ZNANJ

Hauptoutput projekta O.T1.4

Inhalt

1	OPIS PROJEKTA	1
1.1	Projektna ekipa.....	1
1.2	Rezultati (dosežki) projekta	2
2	STAF PANEL	3
2.1	Analiza stanja (IHB).....	3
2.1.1	Izhodišče	3
2.1.2	Osnova za razvoj.....	4
2.1.3	Koncept STAF panela	4
2.1.4	Gradbenotehnične zahteve	6
2.2	Raziskave na testnem poligonu (IWT/IHB).....	8
2.1	Numerične analize	14
2.1.1	Tok in toplota IWT	14
2.1.2	Optimizacija produkcijskega procesa	24
2.1.3	Integracija v obstoječe sisteme ogrevanja (Talum/Študija Uni Maribor).....	35
2.1.4	Simulacija na objektu	37
2.1.5	Higrotermalne lastnosti.....	38
2.2	Predlogi za integracijo STAF panelov v fasade – gradbeni vidik (IHB).....	42
2.3	Analiza življenjskega cikla (Talum/Studie Uni Maribor)	48
2.4	Predlog uvedbe produkta na trg	49
2.5	Zasnova in izdelava prototipa (IHB).....	51
3	USTVARJANJE MREŽE ZNANJA.....	54
3.1	Poslovna srečanja	54
	Koncept poslovnih srečanj:	55
3.2	Mreža znanja	57
4	KOMUNIKACIJA (TIKOPRO UND TU GRAZ)	58
4.1	Družena omrežja in spletna stran (TikoPro).....	58
4.2	Novinarske konference (TikoPro).....	59
4.3	Splošni članki o projektu (TikoPro).....	60
4.4	Predstavitev projekta na strokovnih konferencah	62
4.5	Znanstveni članki	62
	KAZALO SLIK.....	I
	KAZALO TABEL	IV
	LITERATURA	V

1 Opis projekta

Projekt ABS Network je ustvaril mrežo znanja med slovenskimi in avstrijskimi strokovnjaki na področju učinkovite rabe sončne energije in razvil solarno termično aktivirano fasadno ploščo (STAF panel) za proizvodnjo energije. Tehnološka inovacija je združitev tehnologije roll-bonding (platinirano valjanje) industrijskega partnerja Talum d.d. z znanjem o fasadni tehnologiji na Tehniški univerzi v Gradcu. Za širjenje znanja in izmenjavo znanja med deležniki, je odgovorno podjetje Tiko Pro d.o.o.. Interdisciplinarni pristop naj bi olajšal nadaljnje sodelovanje in spodbudil oblikovanje novih čezmejnih konzorcijev.

1.1 Projektna ekipa

Projektno skupino ABS Network sestavljajo strokovnjaki iz Tehniške univerze v Gradcu, Talum d.d. in Tiko Pro d.o.o. Spodaj so podrobneje opisani projektni partnerji.

Tehniška univerza v Gradcu

Tehniška univerza v Gradcu s tem projektom združuje pristojnosti dveh največjih fakultet, in sicer gradbeništva in strojništva. Projektno skupino Tehniške univerze v Gradcu sestavljajo naslednji trije inštituti:

- Raziskovalno področje delovne skupine "Orodja in oblikovanje" na **Inštitutu za znanost o materialih, tehnologiji spajanja in oblikovanja** je na področju oblikovanja pločevine in tehnologije orodja. Da bi zagotovili raziskovalno delo, usmerjeno v prakso, se je treba usmeriti v posebne zahteve industrijske panoge.
- **Inštitut za gradbeništvo** in zlasti delovna skupina za gradnjo stavb in fasadni inženiring vidi svoje pristojnosti in izkušnje na raziskovalnih področjih "betonski stavbni ovoji za gradbeništvo", "stavbni ovoji za prilagodljivo gradnjo" in "stavbni za kovinsko gradnjo".
- **Inštitut za toplotno tehniko** sodeluje s svojo delovno skupino "Energetsko učinkovite stavbe" pri razvoju trajnostnih energetske strategije in programskih rešitev za vrednotenje in optimizacijo stavb.

Talum d.d.

Industrijski partner Talum d.d. je podjetje z dolgoletno tradicijo v proizvodnji primarnih izdelkov iz aluminija. Talum d.d. ima veliko izkušenj s proizvodnjo uparjalnikov za hladilno tehnologijo s tehnologijo platiniranega valjanja. Ista tehnologija se uporablja v hibridnih fotovoltaičnih sistemih razvoj in izdelavo sončnih komponent. Talum d.d. sodeluje tudi s podjetji v Evropi, ki delujejo na področju trajnostnega razvoja izdelkov za izrabo sončne energije. Z nenehnim sodelovanjem z institucijami znanja v regiji in tudi zunaj Slovenije, Talum d.d. sledi razvojnim trendom teh izdelkov.

Tiko Pro d.o.o.

Tiko Pro d.o.o. je priznано in uspešno svetovalno podjetje, ki na eni strani podpira podjetja pri razvoju nacionalnih projektov in EU projektov, na drugi strani pa pri poročanju o izvedbi projektov. Podjetje ima številne reference tako na nacionalni kot mednarodni ravni. Kot del teh dejavnosti je podjetje izvedlo tudi številne PR in marketinške kampanje ter organiziralo številne različne dogodke.

1.2 Rezultati (dosežki) projekta

V zadnjih 26 mesecih se je projektna skupina lotila različnih aktivnosti za doseganje ciljev projekta. Na splošno je projekt mogoče razdeliti na dva dela, razvoj STAF panela in razvoj mreže znanja.

STAF-Panel

Razvoj panela STAF se je začel z oblikovanjem specifikacij, da bodo z lastnostmi panela jasno seznanjeni vsi člani projektne skupine. Naslednji korak je bila zasnova in izdelava primerne testnega poligona za panele. Poleg testiranja panelov, so bili izvedene tudi številne raziskave. Rezultate obeh preskusnih metod smo primerjali, da smo dobili idealen prototip. Rezultati raziskav so bili objavljeni v skupnih znanstvenih člankih.

Mreža znanja

Zaradi ustvarjanje mreže znanja so bila organizirana posebna srečanja. Na ta tako imenovana poslovna srečanja so bili povabljeni predstavniki vseh ciljnih skupin, ki smo jih opredelili v projektni prijavi. Da bi čim več oseb obvestili o teh srečanjih in o mreži znanja, so bile za projekt vzpostavljene spletna stran in strani družbenih medijev.

Podroben opis posameznih delovnih paketov projekta ABS-Network je predstavljen v naslednjih poglavjih tega poročila.

2 STAF panel

2.1 Analiza stanja (IHB)

Zasnova fasade kot visoko učinkovite nosilne konstrukcije z novimi metodami oblikovanja in spajanja tehnologije ter integracije sistemov gradbenih storitev predstavlja množico izzivov, s katerimi se srečuje interdisciplinarna projektna skupina. Poudarek je na fasadah za skelete in trdne konstrukcije - zlasti tankostenske, samonosilne fasadne elemente kot hibridne konstrukcije, ki temeljijo na lahkih konstrukcijskih metodah. Po eni strani je cilj pridobiti vpogled v sončno toplotno obnašanje sendvič panelov in podobnih struktur pri vključevanju sistemov za pretvorbo energije v krovne plošče, na drugi strani pa razviti koncepte (ključne podrobnosti) za visokotehnološko implementacijo na fasadi.

2.1.1 Izhodišče

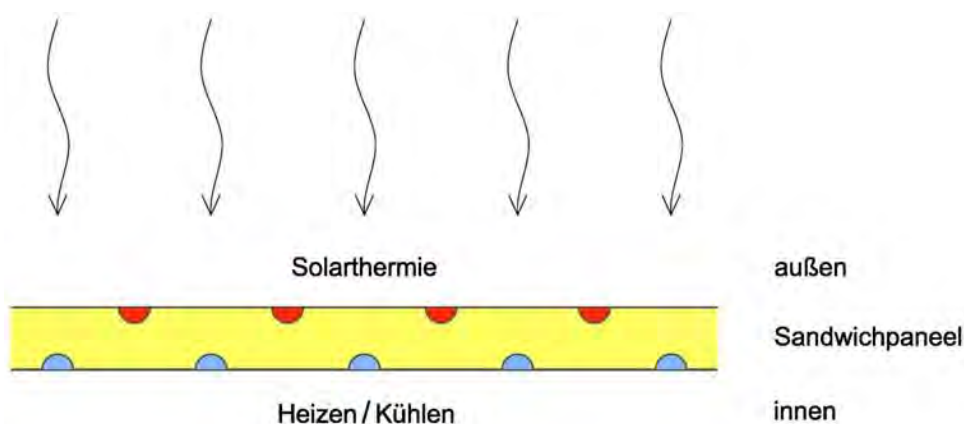
Sendvič plošče se tradicionalno uporabljajo v gradbeništvu - zlasti pri gradnji industrijskih objektov in hladilnic - na milijone stroškovno učinkovitih elementov, ki so pripravljeni za vgradnjo za oblikovanje toplotnega ovoja stavbe, kot stena ali streha. Uporabljene sendvič konstrukcije so sestavljene iz izolacijskega jedra, večinoma iz penastega poliuretana (PU), redkeje iz mineralne volne (MW) ali ekspandiranega polistirena (EPS) in dveh tankih kovinskih prekrivnih plasti iz jeklenih ali aluminijastih pločevin (Slika 1).



Slika 1: Standardna sendvič plošča proizvajalca Brucha GmbH, sestavljena iz dveh mikroprofiliranih jeklenih pokrovnih plošč in izolacijskega jedra iz poliuretanske pene.

2.1.2 Osnova za razvoj

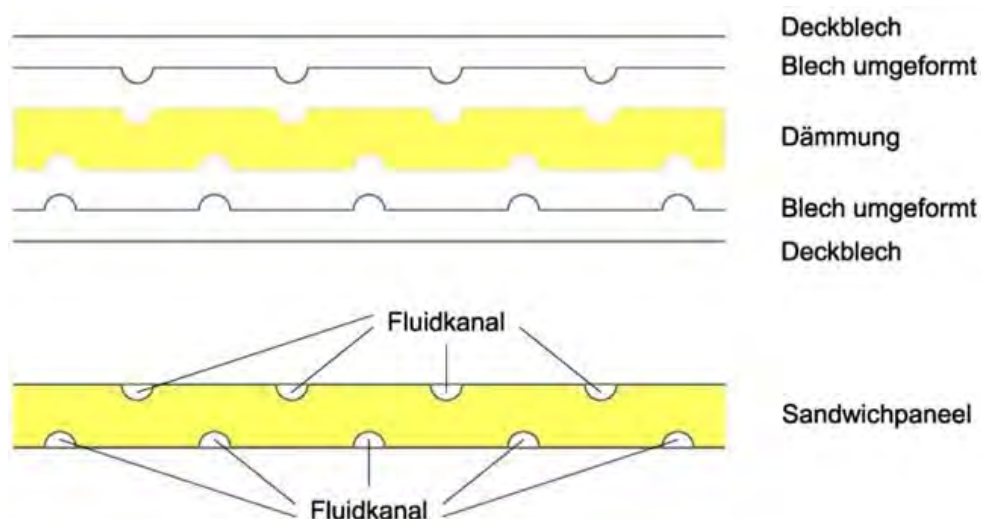
Delni razvoj površinske plošče za proizvodnjo sončne energije na zunanji strani, na eni strani, in toplotno kondicioniranje (ogrevanje ali hlajenje) notranjosti, na drugi strani, predstavlja osrednjo idejo Interreg projekta "ABS Network" (Slika 2). Hkrati pa smo želeli razviti rešitev za integracijo energetske pretvorbenih sistemov v ovoju stavbe (ključna beseda "sončne fasade"), hkrati pa arhitekturni vidiki ustrezajo trenutnim trendom sodobne fasadne gradnje. Funkcionalno prepričljive in ustvarjalno dovršene sendvič fasade se poleg klasične industrijske gradnje lahko uporabljajo tudi na drugih področjih uporabe, kot so: poslovne stavbe, stanovanja, gradnjo šol, gospodarsko gradnjo itd.



Slika 2: Sončno termično aktiviran sendvič panel s fluidnimi kanali za pridobivanje energije na njegovi zunanji strani in kondicioniranje notranjih prostorov na njegovi notranjosti.

2.1.3 Koncept STAF panela

Za energijsko aktivacijo se zunanje kovinske plasti sendvič plošče spremenijo tako, da tvorijo točno določene votline - tako imenovane fluidne kanale - (Slika 3).



Slika 3: Prerez sončno-toplotno aktivirane sendvič plošče (štirje listi) - ena ploščata in ena oblikovana pokrovnna plošča tvorita fluidne kanale

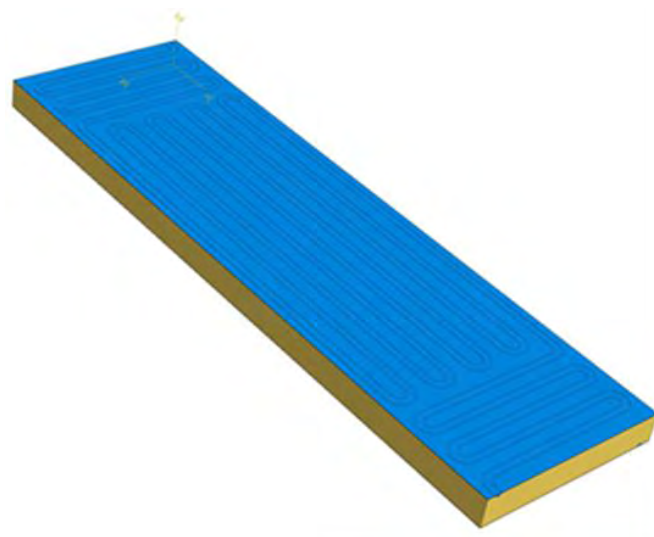
Trenutno je treba metodo "platiniranega valjanja" (roll bond) opisati kot "najsodobnejšo" - poseben postopek oblikovanja pločevine, ki ga je razvil Talum d.d. Za proizvodnjo uparjalnikov za hladilnike (valjani uparjalniki), lahko pa tudi za izdelavo absorberskih plošč za ploščate kolektorje (Slika 4).



Slika 4: Oblikovanje z platiniranim valjanjem: absorber podjetja Savosolar (Finska) s strukturo kanalov FracTherm iz Fraunhoferjevega inštituta za sončne energijske sisteme ISE. [1]

V tem primeru se dve (ali več) kovinskih plošč med seboj pojijo z valjanjem pod visokim pritiskom. Območja, ki se ne bi smela povezati, predhodno obdelamo s sredstvom za ločevanje (ponavadi z grafitnim premazom). V drugem proizvodnem koraku se nepovezane površine "napihnejo" s pomočjo stisnjenega zraka, tako da se lahko fluidni kanali tvorijo v želeni geometriji prečnega prereza in v želenem poteku čez sicer ravno pločevino (glej poglavje **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Za izdelavo sončno toplotno aktivirane sendvič plošče (Slika 5) sta v zadnjem proizvodnem koraku dve aluminijasti plošči absorberja (prekrivne plošče), ki sta nastali s platiniranim valjanjem, tesno pritrjeni na izolacijsko jedro poliuretanske pene ali mineralne volne v želeni debelini. Tako sestavljena komponenta se lahko - v nasprotju s klasičnimi termalnimi sončnimi kolektorji - neposredno uporablja kot stena. Ker je na ta način dosežena fasadna integracija sistema, ki pretvarja energijo (sončno sevanje v toploto), drage podkonstrukcije, kakršne so trenutno potrebne za predzidno vgradnjo sončnih kolektorjev, ob uporabi STAF panelov niso potrebne.



Slika 5: Sončna termično aktivirana sendvič plošča z meandrasto obliko fluidnih kanalov (upodobitev).

2.1.4 Gradbenotehnične zahteve

Za zagotovitev konstantno visoke kakovosti konstrukcij - v primeru STAF panela se posebej nanaša na ovoj stavbe (streha in stena) - mora biti izpolnjeno veliko število zahtev. To so predpisi EU, direktive EU, nacionalni zakoni, evropski in nacionalni standardi ter tehnični predpisi (na primer tehnična pravila ali tehnične informacije). Poleg tega se lahko kot dodatne zahteve med strankami (npr. kupec in prodajalec) dogovorijo tudi posebni pogoji.

EU predpisi:

Uredba EU je akt Evropske unije s splošno veljavnostjo in neposrednim učinkom v državah članicah. Na področju gradbeništva je treba v tem okviru omeniti uredbo EU o gradbenih proizvodih, ki ustvarja usklajene pogoje za trženje gradbenih proizvodov po vsej EU. Preden je gradbeni proizvod na voljo na trgu EU, je treba sestaviti tako imenovano "izjavo o lastnostih", če je gradbeni proizvod zajet v "usklajenem standardu" ali če je bila izdana "evropska tehnična ocena".

Uredba (EU) Št. 305/2011 [2], znana tudi kot uredba EU o gradbenih proizvodih, v Prilogi 1 določa osnovne zahteve za objekte (zaščitne cilje), kot sledi:

Konstrukcije morajo biti primerne za predvideno uporabo kot celote in v njenih delih, ob upoštevanju zlasti zdravja in varnosti oseb, vključenih v celotnem življenjskem ciklu del. Konstrukcije morajo izpolnjevati te osnovne gradbene zahteve za normalno vzdrževanje v komercialno razumnem obdobju.

- Mehanska trdnost in stabilnost
- Požarna varnost
- Higiena, zdravje in varstvo okolja
- Varnost in dostopnost med uporabo
- Zvočna izolacija
- Varčevanje z energijo in toplotna zaščita
- Trajnostna raba naravnih virov

EU Smernice:

Za razliko od uredb EU smernice EU niso neposredno učinkovite in zavezujoče, ampak jih je treba prenesti v nacionalno zakonodajo, da bi bile učinkovite. Od posameznih držav članic je odvisno, kako izvajati smernice. Tore, pri izvajanju smernic imate bolj proste roke, kot pri upoštevanju uredb.

Na področju gradbeništva je treba omeniti stavbno direktivo EU o energetske učinkovitosti stavb 2010/31 / [3], ki vsebuje naslednje zahteve:

- Opredelitev metode izračuna
- Minimalne zahteve za nove in obstoječe zgradbe in tehnične sisteme stavb
- Določitev, da se od leta 2020 lahko gradijo samo nizkoenergijske stavbe
- Optimalni stroški kot ključno merilo
- Javni kraji kot vzor
- Kvalifikacija institucij, ki izdajajo izkaznice in overitve, uvedba neodvisnega nadzornega sistema
- Prilagoditev tehničnemu napredku, sankcije

Izvajanje v nacionalnih zakonodajah:

Avstrijski inštitut za gradbeno tehnologijo je v izdaji 2015 pripravil smernico OIB 6 - Varčevanje z energijo in zaščito pred toploto ter dokument OIB za opredelitev stavbe z najnižjo energijo in določitev vmesnih ciljev v nacionalnem načrtu direktive o stavbah 2010/31 / EU. Izvajanje direktive o stavbah EU je potekalo z zveznimi in državnimi zakoni. Na primer, smernice OIB [4] so bile v ustreznih deželnih gradbenih predpisih razglašene za zavezujoče.

Evropske in nacionalne norme:

ÖNORM je nacionalni standard, ki ga je objavil Avstrijski inštitut za standarde. ÖNORM so prostovoljni standardi, ki jih na Avstrijskem inštitutu za standarde pripravljajo v odborih za standarde. Njihov razvoj bodisi spodbudijo zainteresirane skupine bodisi sprejmejo kot nacionalni standard v okviru evropske in mednarodne standardizacije (npr. CEN, ISO). ÖNORM izda Avstrijski inštitut za standarde.

Glede načrtovanja, proizvodnje, namestitve in obratovanja STAF panela je treba upoštevati naslednje (avstrijske in sprejete evropske) standarde in tehnična pravila v trenutni različici::

- - ÖN EN 1990: Eurocode - Osnove konstrukcijske zasnove
 - ÖN B 1990: Eurocode - Osnove konstrukcijske zasnove - Nacionalne specifikacije in dopolnitve
 - ÖN EN 1991: Eurocode 1 - Ukrepi na strukture
 - ÖN B 1991: Eurocode 1 - Ukrepi za konstrukcije - nacionalne specifikacije in dodatki
 - ÖN EN 1998: Eurocode 8 - Oblikovanje struktur proti potresom
 - ÖN B 1998: Eurocode 8 - Oblikovanje konstrukcij proti potresom - nacionalne specifikacije in pojasnila
 - ÖN EN 1999: Eurocode 9 - Izračun in načrtovanje aluminijastih konstrukcij
 - ÖN B 1999: Eurocode 9 - Izračun in načrtovanje aluminijastih konstrukcij - nacionalne specifikacije, pojasnila in dodatki
 - ÖN EN 1090: Izvedba jeklenih konstrukcij in aluminijastih konstrukcij
 - ÖN B 2110: Splošni pogodbeni pogoji za gradnja - Pogodbeni delovni standard

- ÖN B 2221: Krovska dela – okvirni normativi
- ÖN B 2225: Obdelava kovin, proizvodnja jeklenih in aluminijastih konstrukcij ter protikorozijska dela - pogodba o delovnem standardu
- ÖN B 2230-1: Slikarska in premazna dela - 1. del: Premaz na lesu in lesnih materialih, kovini, plastiki, zidarstvu, mavcu, betonu in lahkih gradbenih ploščah - Pogodba o izvedbi standardov
- ÖN B 3419: Načrtovanje in izvedba strešnih in stenskih oblog
- ÖN B 3521-1: Načrtovanje in izvedba strešnih in stenskih oblog iz kovine - 1. del: Krovska dela
- ÖN B 6000: Tovarniško izdelani izolacijski materiali za toplotno in / ali zvočno izolacijo v gradbeništvu - vrste izdelkov, zahteve glede učinkovitosti in pogoji uporabe
- ÖN B 8110: Toplotna izolacija v gradbeništvu
- ÖN B 8115: Zvočna izolacija in akustika prostora v gradbeništvu
- ÖN DIN 18202: Tolerance v gradbeni zgradbi - Konstrukcije
- ÖN EN 508: Izdelki za kritino in obloge sten iz pločevine - Specifikacije za samonosne strešne izdelke iz jeklene pločevine, aluminijaste pločevine ali pločevine iz nerjavečega jekla
- ÖN EN 1264: Prostorni ogrevalni in hladilni sistemi s pretokom vode
- ÖN EN 12828: Ogrevalni sistemi v stavbah - Načrtovanje ogrevalnih sistemov s toplo vodo
- ÖN EN 12975: Toplotni solarni sistemi in njihovi sestavni deli - kolektorji
- ÖN EN 13162: Toplotnoizolacijski izdelki za zgradbe - Tovarniško izdelani izdelki iz mineralne volne (MW) - Specifikacija
- ÖN EN 13165: Toplotnoizolacijski izdelki za stavbe - Tovarniško izdelani izdelki iz trde poliuretanske pene (PU) - Specifikacija
- ÖN EN 13501: Razvrstitev gradbenih proizvodov in vrste obnašanja v požaru
- ÖN EN 14509: Samonosne sendvič plošče z dvostranskimi kovinskimi prevlekami - Tovarniško izdelani izdelki - Specifikacija
- ÖN EN 14782: Samonosni strešni in stenski elementi za notranjo in zunanjo uporabo pločevine - Specifikacija izdelka in zahteve
- Posebno pravilo za gradbena dela 2. del: Krovne in stenske obloge (stenske obloge), izdelane iz obsežnih, industrijsko izdelanih kovinskih elementov

2.2 Raziskave na testnem poligonu (IWT/IHB)

Postavitev testnega kontejnerja

Za preverjanje toplotnih simulacij - predvsem za merjenje dejanske proizvodnje energije plošče STAF - je bila odločena izdelava testne mize. V ta namen je bil pri graškem gradbenem podjetju najet običajni gradbeni zabojnik (kontejner), katerega smo prepeljali na kampus Tehniške univerze v Gradcu, in ga postavili na začasno podlago iz betonskih plošč in preuredili v preskusni zabojnik – testni poligon. Z izrezom odprtin v njegovi vzdolžni steni (Slika 6) je bilo mogoče namestiti skupno pet STAF panelov, ki omogočajo sočasno merjenje plošč z absorberji različnih geometrij fluidnih kanalov.



PRÜFCONTAINER NEU



Aufbauten

cm	AW01 - Außeneingangs Paneele
0,55	verzinktes Stahlblech, profiliert Kunststoffbeschichtung
5,0	Polyurethanschäumung
0,55	verzinktes Stahlblech, glatt Kunststoffbeschichtung
6,1	

cm	Außensicht MPC Box
1,0	Dünnsputz
20,0	MH- Dämmung
20,0	Stahlbeton
41,0	

cm	FBO1
2,2	Spanplatte zementgebunden Kunststoffbelag
10,0	Rahmenkonstruktion, Stahlpro- fil, dazw. MW- Dämmplatten
0,55	Stahlblech, verzinkt und besch.

10,0	Schallschutz
13,7	
cm	F802, MPC Box
20,0	Stahlbeton, Besenestrich
15,0	XPS Dämmung
10,0	Schallschicht

45,0	
cm	DA01
2,2	Stahlblech, verzinkt und beschichtet
10,0	MW-Dämmplatten
5,0	Sandwichpaneels PU

17,2	cm	DAC2 MPC Box
20,0		Stahlbeton
-		Dampfsperre
20,0		EPS im Gieße
0,4		bituminöse Abdichtung, 2 lagig

Bruttogeschoßfläche g

Bruttogeschoßfläche gesamt

$$2 \times 14.74 + 2 \times 19.82 = 69.12 \text{m}^2$$



Plošče absorberjev z različnimi geometrijami fluidnih kanalov je izdelala družba TALUM d.d. proizvedeno iz Kidričevega (Slovenija) s pomočjo platiniranega valjanja, ki so jih nato dodelali v proizvodni liniji podjetja Brucha Ges.m.b.H. v Michelhausenu (Spodnja Avstrija) z dodatkom izolacijskega materiala (poliuretana), iz česar je nastal STAF panel. Namestitvev STAF panelov v vdolbine na preskusni kontejnerju je bila izvedena s pomočjo zloženih jeklenih pločevin, ki so bile zakovičene na notranjo stran stene kontejnerja (Slika 8). Konstrukcijske spoje med ploščami (preskusni vzorec) in steno kontejnerja smo od znotraj zaprli z dvokomponentno poliuretansko peno na zunanji strani in na zunanjo površino pritrdili vetrovno in udarno odporno, vendar prepustno folijo (Slika 9).

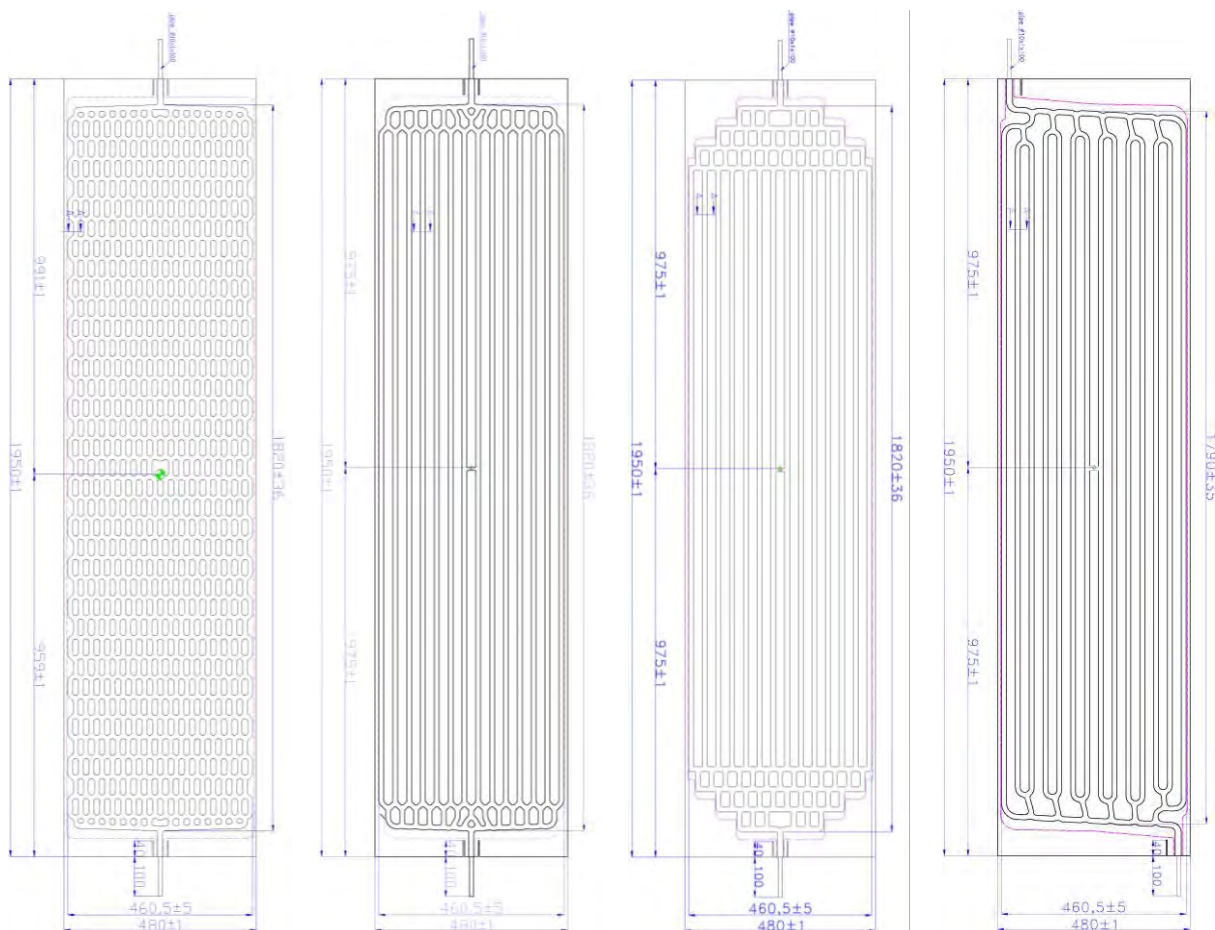


Slika 8: Pritrditev plošč STAF na notranjo stran preskusnega kontejnerja s pomočjo zloženih jeklenih pločevin. Ogledate si lahko tudi še nezapečateni, večstranski gradbeni spoj.



Slika 9: Zunanji pogled preskusnega kontejnerja s 5 vgrajenimi STAF paneli (testni vzorci), vsak prevlečen z difuzijsko odprto folijo (črna). Številke označujejo položaj namestitve.

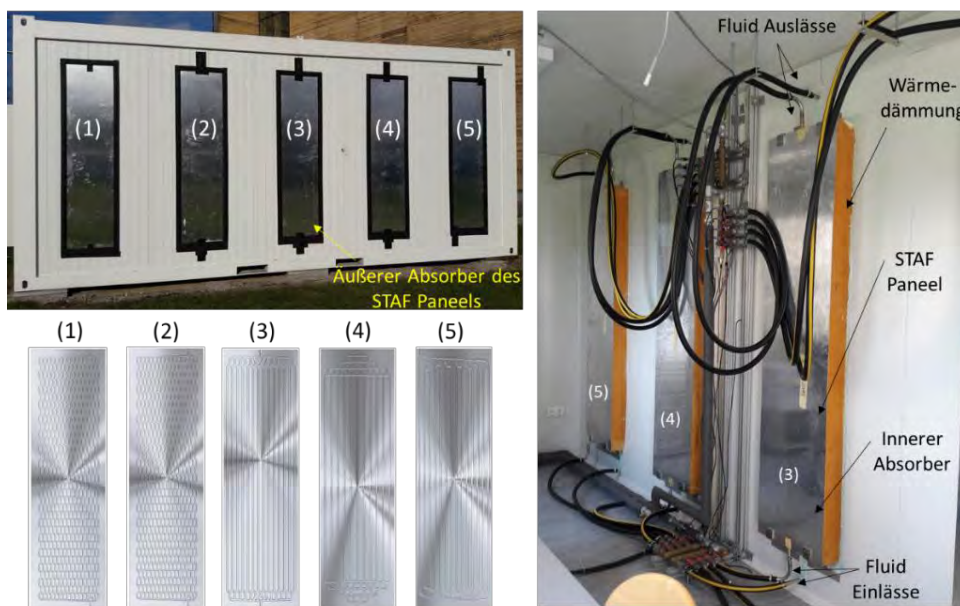
Na strani projektne skupine so bile v testnem kontejnerju izbrane in nameščene naslednje štiri geometrije fluidnih kanalov - ena napihnjena in in z enako postavitvijo zunanje in notranje pokrivne plošče (primerjava namestitvenih položajev 1 do 5 na Slika 9) (Slika 10):



Slika 10: Geometrije fluidnih kanalov (od leve proti desni): satje na položaju (1) in (2), harfa s 14 kanali na položaju (3), harfa s 14 kanali in stopničasto, vodoravno porazdelitvijo tekočine na položaju (4), bionika na položaju (5).

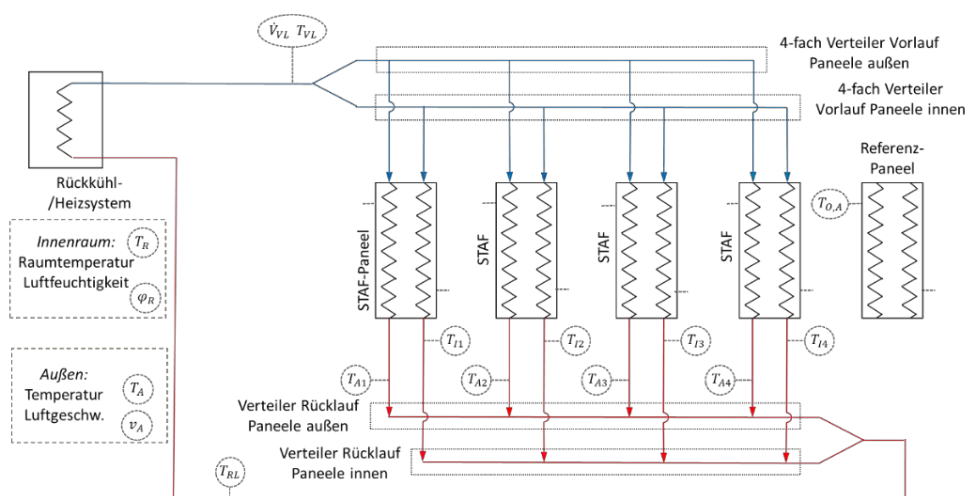
Razlog za namestitev dveh enakih STAF panelov na položaju (1) in (2) je v dejstvu, da panel (1) edini nima pretoka tekočine, tj. njegova zasnova ustreza običajni sendvič plošči in se zato lahko uporablja neposredno kot referenčna plošča za primerjalne meritve.

V zgoraj opisanem eksperimentalnem vsebniku so integrirani STAF paneli priključeni na toplotni vir / odtok, da bi jih lahko oskrbovali s konstantno temperaturo in pretokom tekočine. To je potrebno za primerjavo štirih različic STAF panelov s termičnega vidika. Zaradi stroškovnih razlogov ni bilo mogoče, da bi vsaka plošča ustvarila svoj krog za vir / odtok tekočine. Zato smo povezave zunanjih in notranjih absorpcijskih panelov kombinirali s pomočjo razdelilnika, kot je razvidno na Slika 11.



Slika 11: Fotografija eksperimentalnega kontejnerja na Tehniški univerzi v Gradcu, diagram vgrajenih različic STAF panelov in fotografija notranjosti kontejnerja s hidravličnim priključkom plošč za ponovno hlajenje ali ogrevanje.

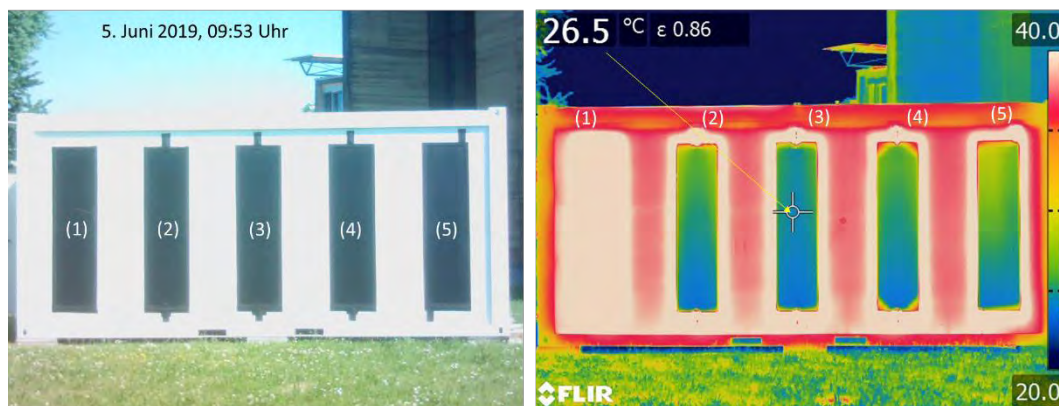
Slika 11 poleg tega prikazuje geometrijo položaja in fluidnih kanalov STAF panelov v obliki upodobljenih 3D CAD modelov. Shema hidravličnega vezja v poskusnem kontejnerju je prikazana na Slika 12, skupaj z opisom merilnih točk.



Slika 12: Predstavitev hidravlične in merilne sheme za preskusni kontejner.

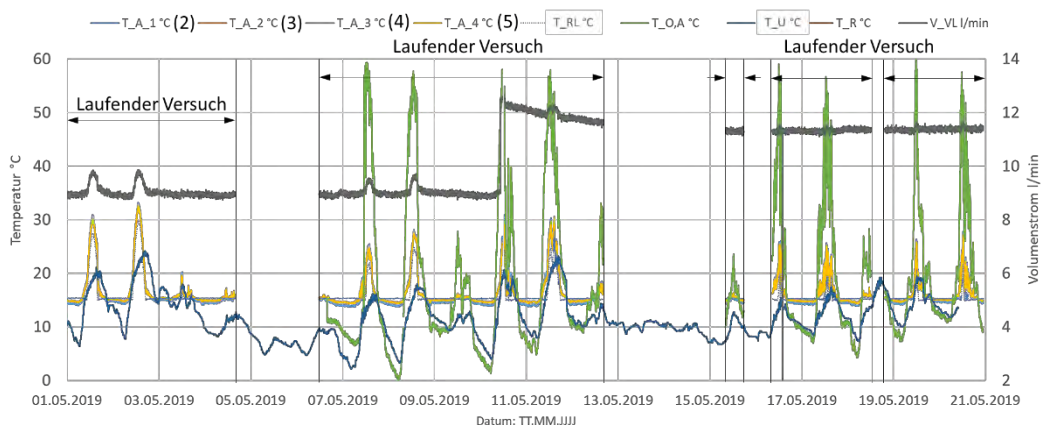
Za pridobitev koristne primerjave je bila nameščena naslednja merilna tehnologija: skupni zajem podatkov (zapisovalnik podatkov), ki lahko prikaže trenutno izmerjene vrednosti prek merilnega računalnika in programske opreme Labview in jih shrani v arhiv. Na pretoku pred razdelilniki je bila nameščena volumetrična meritev pretoka (MID načelo), ki je bila pred začetkom meritve kalibrirana po "Ausliterjevi metodi". Poleg tega je bila določena porazdelitev volumetričnega pretoka za vsak notranji in zunanji absorber, da bi kasneje določili toplotno moč. Pretok meri tudi temperaturo tekočine, ki je potrebna tudi za določitev toplotne moči. Vsekakor se za vsak absorber meri povratna temperatura, da se pri merjenju zaznajo razlike pri segrevanju tekočine v absorberjih. Poleg tega se na referenčni plošči (1) meri temperatura površine, da se izmeri temperatura brez termičnega aktiviranja plošče in da se iz termografskih slik poda referenca za temperaturno indikacijo. V povprečju je bila

izmerjena temperatura na površini približno 0,5 K nad vrednostjo, določeno na slikah. Na Slika 13 je prikazan primer termografske kamere, posnete 5. junija 2019 nekaj pred 10. uro dopoldne. Obstaja jasna temperaturna razlika med referenčno (približno 55 °C) in toplotno aktiviranimi ploščami (med 20 in 30 °C). Poleg tega so izmerili notranjo temperaturo in vlažnost ter hitrost pretoka zraka v točki med različicama STAF panela (3) in (4) na razdalji 10 cm od ovoja stavbe..

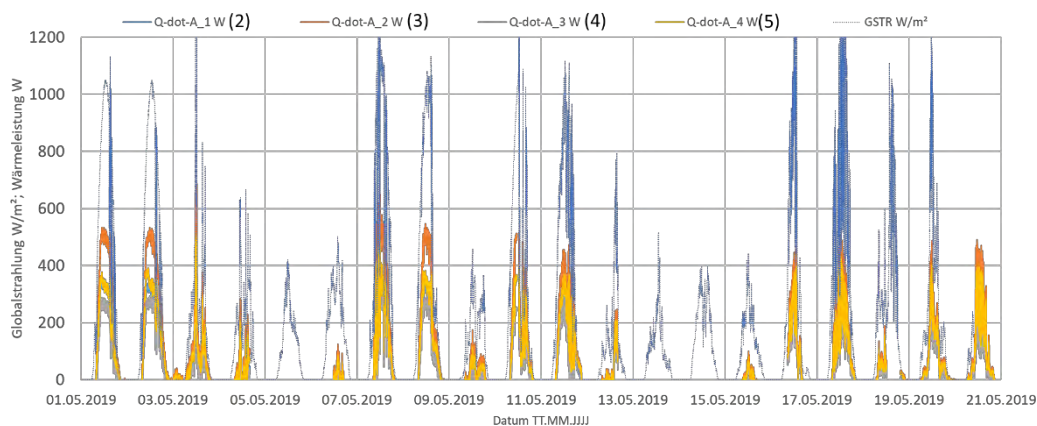


Slika 13: Primerjava porazdelitve temperature med štirimi različicami STAF panela, posneta s termografsko kamero.

Na Slika 14 in Slika 15 so reprezentativno predstavljeni podatki, zabeleženi in dobljeni iz merilnih podatkov, v obdobju od 1. maja do 21. maja 2019.



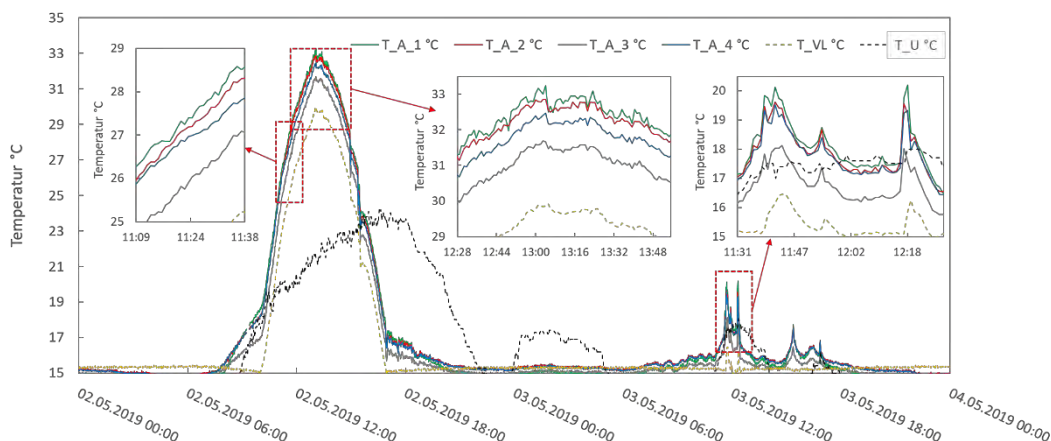
Slika 14: Vrednotenje izmerjenih izhodnih temperatur tekočine, volumnskega pretoka, temperature v kontejnerju, zunanje temperature in temperature površine na referenčni plošči od 01.-21.05.2019.



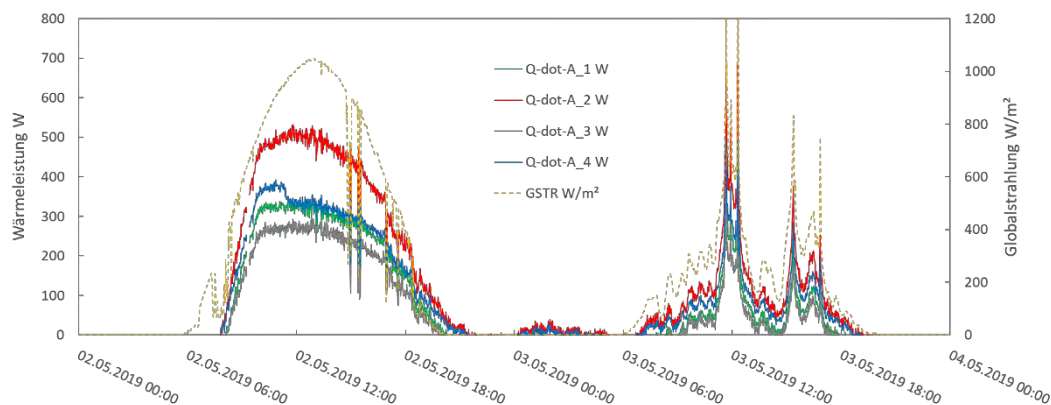
Slika 15: Vrednotenje izmerjene toplotne moči in globalnega sevanja v obdobju 01.-21.05.2019.

V opisu gradientov prva črka opisuje fizikalno količino. Kratica "T" pomeni temperaturo, "V" volumski pretok tekočine, skozi katero tečejo kanali, "Q-dot" za toplotno moč in GSTR pomeni zabeleženo globalno sevanje. Druga črka označuje položaj merilne točke, "A" pomeni izmerjeno povratno temperaturo tekočine za absorberje na zunanji strani STAF panela, "I" za notranje absorberje. Točka, na kateri se meri temperatura in volumski pretok tekočine, nato pa se absorber razdeli med posamezne dovodne črte, označimo z "VL". Mesto, ko tekočina priteče nazaj v toplotni vir / odtok, se imenuje "RL". Merilno mesto, na katerem se meri temperatura površine na zunanji strani referenčne plošče (1), je označeno s kratico "O, A". Če je potrebno, je ime različice STAF panela navedeno na tretjem mestu, kot je bilo predhodno opisano na Slika 11, sicer pa se enota ustrezne izmerjene spremenljivke vedno pojavi na zadnjem mestu v oznaki..

Skupno so bili v obdobju od novembra 2018 do junija 2019 izvedeni različni preskusi, v katerih se je bodisi znotraj (za ogrevanje ali hlajenje) in / ali zunaj vsaj ena od vgrajenih STAF plošč toplotno aktivirala (tj. da je skozi njo tekla tekočina). Nadalje je prikazana primerjava različnih različic STAF panela dva zaporedna dneva v maju, pri čemer skozi vse zunanje absorberje teče tekočina hkrati. Krivulje izmerjenih povratnih temperatur so prikazane na diagramu na Slika 16, dobljene krivulje toplotne moči skupaj z izmerjenim globalnim sevanjem pa so prikazane na Slika 17. Prvega od obeh dni je sonce ves dan sijalo, oblakov ni bilo, drugi dan pa je bilo čez dan skoraj oblačno.



Slika 16: Primerjava izmerjenih izhodnih temperatur tekočine med štirimi različicami STAF panela, vgrajenih v testni kontejner v obdobju 02.-04.05.2019.



Slika 17: Primerjava izmerjenih izhodnih temperatur tekočine med štirimi različicami STAF panela, vgrajenih v testni kontejner v obdobju 02.-04.05.2019.

Pri nastavljenem volumenskem pretoku približno 8,8 l / min se je tekočina segrela do 6 K. Zaradi različnih kanalskih struktur absorberjev in posledičnih razlik v tlačnih razlikah ni skozi vsak absorber tekla ista količina vode, tako da je mogoča le posredna primerjava glede zmogljivosti z meritvami (neposredna primerjava je bila opravljena z numerično analizo, glej poglavje 2.1.1). V razdelilniku se tekočina razdeli na 18,3% vode skozi zunanji absorber različice STAF panela (2), 30,4% po različici (3), 27,6% po različici (4) in 23,7% po Različni (5) pretok (podatki o umerjanju).

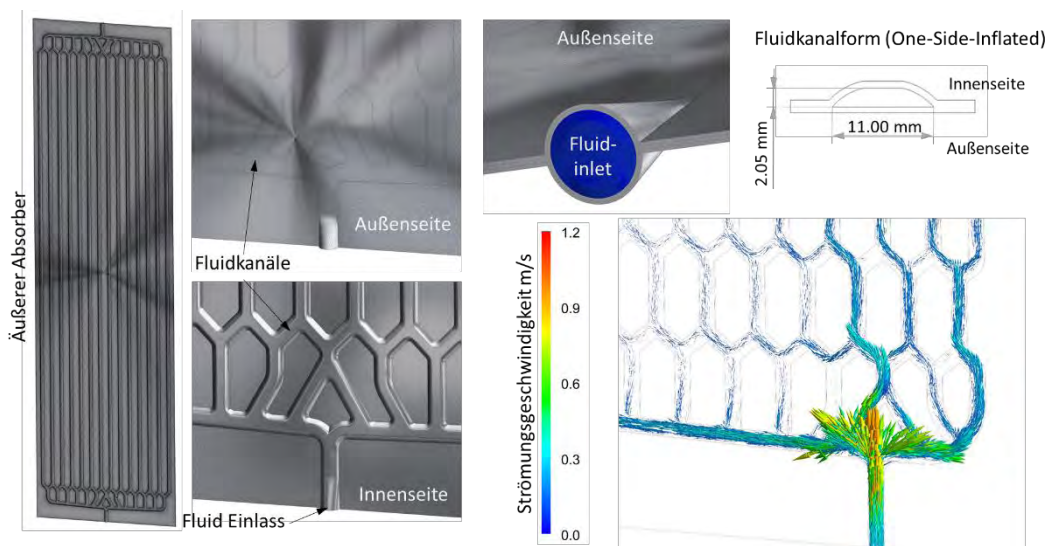
Če primerjamo temperature iztoka tekočine, je plošča (1) najbolj delovala z najnižjo stopnjo pretoka, sledili sta z zelo majhno razliko različici (2) in (4); za varianto plošče STAF (3) smo ugotovili najnižjo izstopno temperaturo tekočine. Če pogledamo toplotne učinke, izračunane iz izmerjenih vrednosti, absorber v različici STAF plošče (2) deluje najbolje. Sledijo različice v vrstnem redu (4), (1) in (3). Na diagramih je opazen padec toplotne moči za varianto (4) med 11:10 in 11:20. Če pogledamo izmerjeno izstopno temperaturo tekočine, opazimo tudi, da je temperatura pred 11:10 še vedno približno v območju variante (2), vendar da je ta že po 11:20 nižja za okoli 0,2 K. To je mogoče razložiti z delnim senčenjem v tem času, saj se je ta pojav pojavil v naslednjih dneh hkrati. Gledano izključno z merilnega vidika, plošča STAF najbolj deluje z varianto absorberja (2), ki ji sledi različica (4).

Da bi še natančneje analizirali razlike v toplotni moči, temperaturi iztoka tekočine in izgubi tlaka med posameznimi različicami, je treba v nadaljevanju opraviti tudi numerične analize teh variant z eksperimentalnega poligona.

2.1 Numerične analize

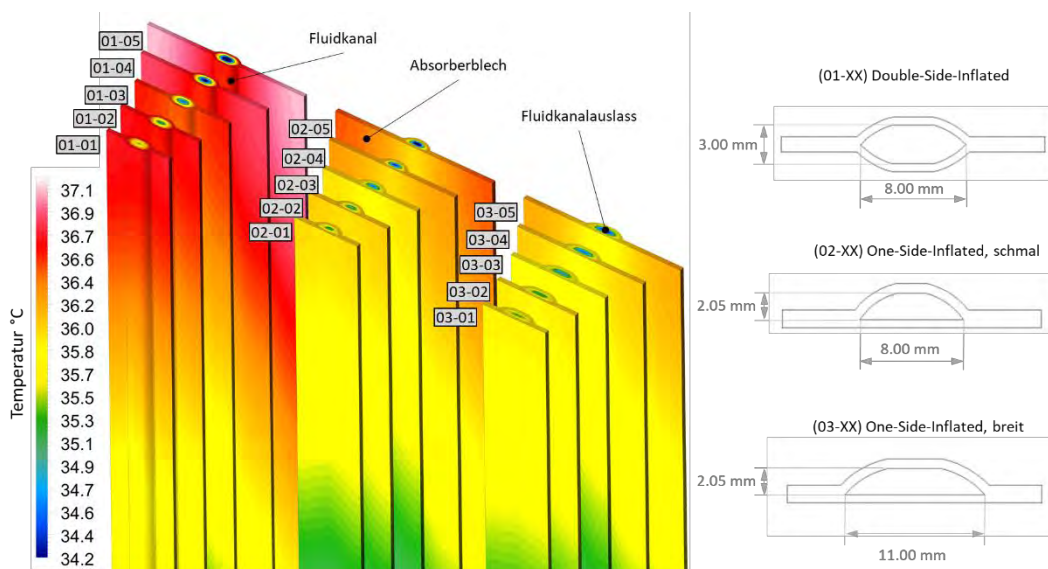
2.1.1 Tok in toplota IWT

V tem poglavju so predstavljeni vsi rezultati, pomembni za projekt, iz številčnih simulacij, opravljenih med analizo toplotnega obnašanja in pretoka tekočine v tekočih kanalih absorberjev plošče STAF. Za vse simulacije je bila uporabljena programska oprema ANSYS Fluent [1], ki je programska oprema za numerični opis različnih fizikalnih, kemijskih itd. Tako lahko na primer podrobno preučimo pretok tekočine znotraj določenega območja v kombinaciji s porazdelitvijo toplote in sevanja. Metoda, znana kot Computational Fluid Dynamics (CFD), temelji na načelu metode "končne prostornine", ki je posebna metoda izračuna za reševanje numeričnih problemov. V ta namen se ustvari dvodimenzionalni ali tridimenzionalni geometrijski model, ki se nato razgradi na veliko število majhnih sosednjih celic (kontrolni volumen). Za vsako od teh celic se v simulaciji s predhodno določenimi modeli enačb iterativno določijo ustrezne fizikalne količine. Na Slika 18 je prikazan tak geometrijski model, razgrajen v celice. V tem poglavju bo opisanih šest analiz, zasnovanih za nadaljnji razvoj in optimizacijo STAF panela v smislu toplotnih lastnosti in učinkovitosti.



Slika 18: Ponazoritev CFD plošče izračuna absorberjev, kot se uporablja na STAF panelih.

Glede na vpliv oblike preseka kanala in razdalje med posameznimi kanali je bila že na začetku projekta izvedena CFD analiza. Pri tej analizi smo upoštevali odsek vpojne pločevine velikosti 1,5 x 1,0 m (glej Slika 19). Pri simulaciji je bilo treba modelirati samo en kanal hkrati in uporabiti hitrost pretoka kot mejni pogoj, izhajajoč iz istega masnega pretoka in ob upoštevanju ustreznega števila kanalov tekočine, v katerih ima vsak prostor za 1 m širine pločevine. Študija zaključenega raziskovalnega projekta UNAB [2] kaže, da je tako imenovani prerez valovitih cevi zelo primeren za prenos vnosa sončne energije v tekočino v absorberju.



Slika 19: Prikaz temperaturnih kontur iz CFD analize vpliva preseka in razmika kanalov na izstopno temperaturo tekočine.

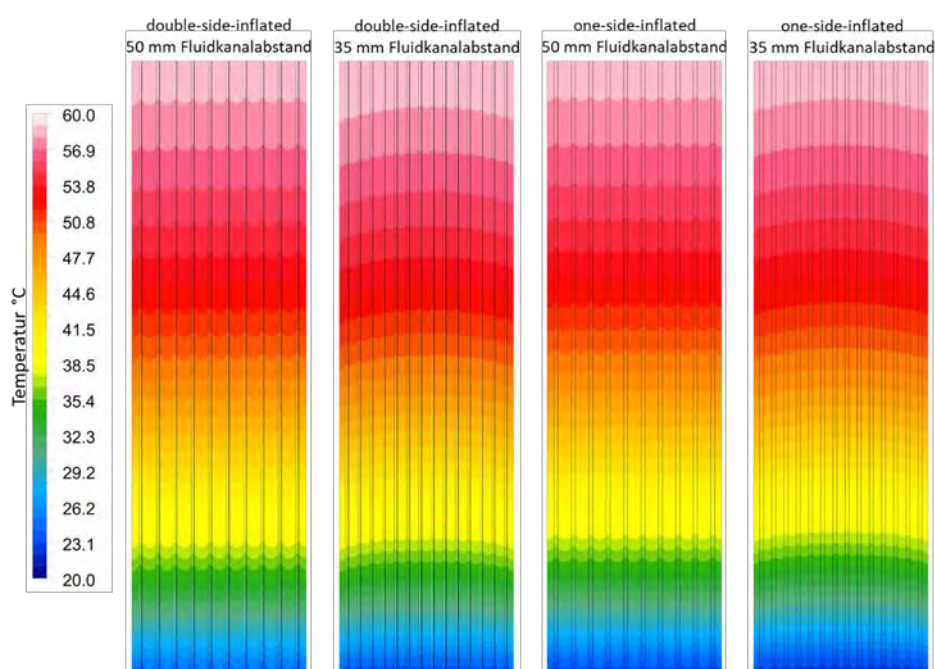
Prezezi fluidnih kanalov absorpcijskih plošč podjetja Talum d. d. [3] imajo zelo podobno obliko. Zato smo v prvem koraku izbrali tri najbolj signifikantne preseke iz Talumovega repertoarja in jih podvrgli termični analizi. Analiza je predvidevala sončno sevanje $600 \text{ W} / \text{m}^2$ navpično na absorberju in zunanjo temperaturo 30°C . Predvidevalo se je, da je temperatura dovoda vode 20°C pri masnem pretoku $50 \text{ kg} / \text{h}$, seštet po tekočih kanalih. Rezultati te analize so navedeni v Tabeli 1.

Tabela 1: Rezultati toplotne analize presekov fluidnega kanala Talum d. d.

Oznaka prereza	Razmik med fluidnimi kanali	Število fluidnih kanalov na absorberju velikosti 1,5 x 1,0 m	Izhodna temperatura vode	Temperaturna razlika med vodom in izhodom	Hitrost toka v fluidnem kanalu	Najvišja temperatura na absorberju	Srednja temperatura na absorberju	Razlika v tlaku med vhomom in izhodom
	mm	-	°C	K	m/s	°C	°C	Pa
01-01	20	49	36,1	16,1	0,0157988	36,7	29,0	44
01-02	25	39	35,9	15,9	0,0198497	36,7	29,1	55
01-03	30	32	35,6	15,6	0,0241919	36,6	29,1	68
01-04	40	24	35,4	15,4	0,0322558	36,9	29,4	91
01-05	50	19	35,2	15,2	0,0407442	37,1	29,6	114
02-01	20	49	35,6	15,6	0,0239287	36,1	29,1	131
02-02	25	39	35,5	15,5	0,0300643	36,1	29,3	165
02-03	30	32	35,3	15,3	0,0366409	36,0	29,3	201
02-04	40	24	35,2	15,2	0,0488545	36,3	29,7	267
02-05	50	19	35,0	15,0	0,0617110	36,5	30,0	339
03-01	20	49	35,7	15,7	0,0165872	36,0	29,7	83
03-02	25	39	35,6	15,6	0,0208403	36,0	29,8	105
03-03	30	32	35,4	15,4	0,0253991	35,9	29,9	128
03-04	40	24	35,3	15,3	0,0338655	36,1	30,3	170
03-05	50	19	35,1	15,1	0,0427775	36,3	30,7	215
03-06	70	13	34,4	14,4	0,0625210	36,4	30,1	315
03-07	90	10	34,1	14,1	0,0812772	37,0	31,5	411
03-08	110	8	33,6	13,6	0,1015966	37,6	30,8	514
03-09	130	6	32,2	12,2	0,1354621	37,5	31,8	687

Analiza je pokazala, da se temperatura izstopa vode povečuje z zmanjšanjem razmika kanalov tekočine. Najvišje temperature iztoka vode in najmanjše izgube tlaka so bile dosežene za odsek 01 (dvostransko napihnjen), za njim pa odsek 03 (enostransko napihnjen, širok) in odsek 02 (enostransko napihnjen, ozek). Z arhitekturnega vidika pa je zunanja izboklina nezaželena, tako da je treba uporabiti enostranski napihnjen prečni prerez, ki ima največjo možno širino preseka kanala.

V drugi študiji smo analizirali absorber z dimenzijami 1,75 x 0,5 m. V tej analizi smo znova primerjali dva prereza 01 in 03 na različnih razdaljah kanalov tekočine (35 mm in 50 mm). Mejni pogoji so bili enaki kot prej, razen masnega pretoka, ki je bil zmanjšan na 6,75 kg / h. Rezultati so predstavljeni v obliki temperaturnih kontur na Slika 20 ter temperature izstopa vode in izračunane toplotne moči v Tabela 2.



Slika 20: Primerjava temperaturnih kontur na zunanji plošči STAF panela 1,75 x 0,5 m z različnimi preseki in razdaljami kanalov tekočine.

Tabela 2: Temperatura iztoka vode in toplotna moč za različne variante absorberjev z dimenzijami 1,75 x 0,5 m.

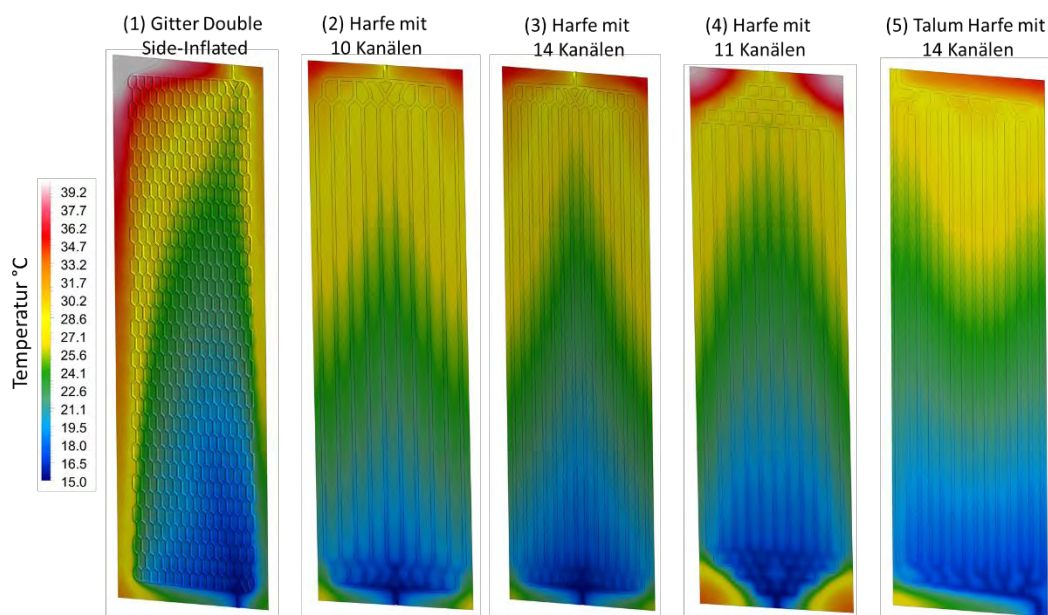
Oblika prereza	Obojestransko napihnjeno 01	Obojestransko napihnjeno 01	Enostransko napihnjeno 03	Enostransko napihnjeno 03
Razmik med kanali	50 mm	35 mm	50 mm	35 mm
Temperatura vode na izhodu	58,2 °C	58,6 °C	58,3 °C	58,5 °C
Toplotna moč panela 1.75 x 0.5 m	316,7 W	319,3 W	317,6 W	318,9 W

Tekočina se je v tej simulacijski varianti segrevala skoraj do 60 °C, kar zadostuje za zalaganje rezervoarja za toplo vodo. Vpliv preseka fluidnega kanala je tu zelo nizek (0.1 K), temperatura vode je višja na razdalji kanalov 35 mm, kot pri 50 mm.

Po analizi STAF plošče 1,75 x 0,5 m z navpičnimi fluidnimi kanali, ki se na vrhu in dnu absorberja ne združijo z vhomom in iztokom, so bila različna vodila tekočinskih kanalov podvržena termični analizi za isto obliko prečnega prereza. V ta namen je bilo vnaprej izbranih ali zasnovanih pet različnih različic, ki so prikazane na Slika 21.

Kot mejni pogoj v analizi so sončno sevanje pod vpadnim kotom 45 °, zunanja temperatura 30 ° C in predpostavka zunanjega koeficienta prenosa toplote 25 W / m²K (kar ustreza zračnemu toku približno 1 m / s) in notranje temperature 20 ° C ob predpostavki koeficienta prenosa toplote 5 W / m²K. Nadalje je bilo domnevno, da voda s temperaturo 15 ° C in masnim pretokom 50 kg / h vstopa v kanale STAF absorberja. Sončna absorptivnost absorpcijske površine je bila določena s faktorjem 0,95 (kar ustreza hitrosti absorpcije črne prevleke s sončno barvo).

Različica (1), ki jo imenujemo "mreža", je bila med magistrsko nalogo M. Hörtenhuberja [4] toplotno izmerjena in je služila kot osnova za potrjevanje modeliranja CFD. Validacija, to je primerjava med merjenjem in simulacijo, pa tudi že del toplotne analize z različnimi usmeritvami kanalov tekočine na absorberju, je objavljena in podrobno opisana v Brandl et al. [5]. Različice 2 do 4 so bile zasnovane v sodelovanju med IHB in IWT, varianta 5 je ideja, ki jo je razvil razvojni oddelek Talum d. d. prihaja. Primerjava temperature iztoka vode, toplotne moči in izgube tlaka med petimi različicami je povzeta v Tabela 3.



Slika 21: Primerjava temperaturnih kontur na absorberju zunaj z različnimi izvedbami kanalov tekočine.

Tabela 3: Primerjava toplotnih in fluidnih parametrov za različne izvedbe vzorcev fluidnih kanalov.

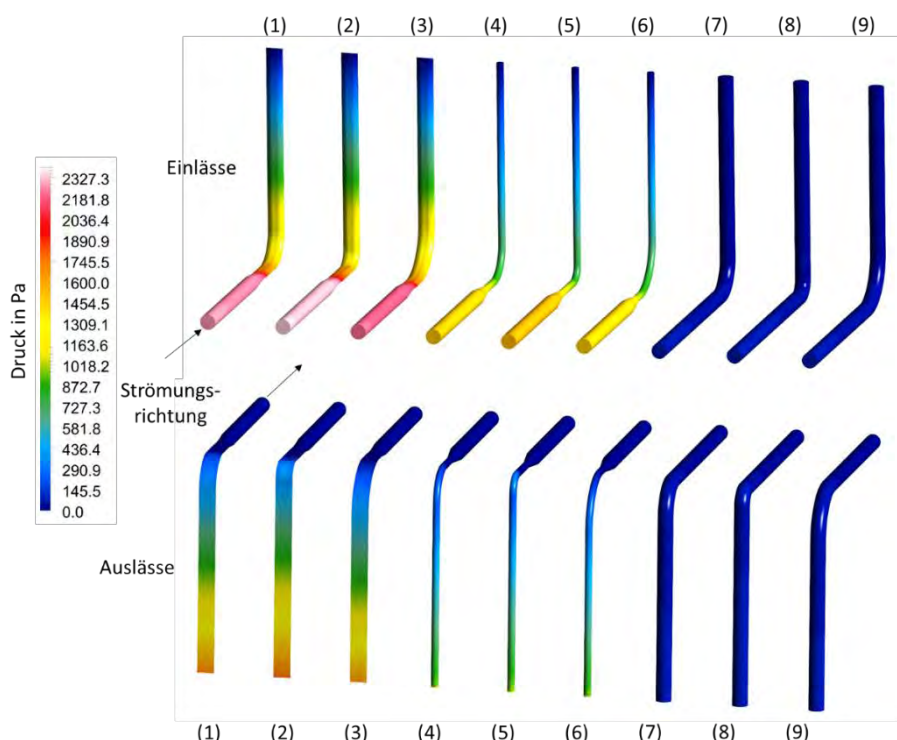
		Mreža (1)	Harfa 10 kanalov (2)	Harfa 14 kanalov (3)	Harfa 11 kanalov (4)	Talum 14 kanalov (5)
		Obojestransko napihnjeno	Enostransko napihnjeno	Enostransko napihnjeno	Enostransko napihnjeno	Enostransko napihnjeno
Temperatura tekočine na iztoku	°C	27.8	27.7	27.9	27.4	28.2
Najvišja temperatura na panelu	°C	42.8	35.6	35.9	39.7	35.0
Povprečna temperatura zunanje plošče	°C	25.1	24.4	24	23.9	23.4
Toplotna moč za panel 1,75 x 0,5 m	W	744.6	739.9	750.3	719.4	767.1
Razlika tlaka med dovodom in izstopom	Pa	1056.3	1599.5	1423.7	2935.6	3060.4
Razlika tlaka med dovodom in izstopom	bar	0.011	0.016	0.014	0.029	0.031
Srednja hitrost pretoka	m/s	0.05	0.09	0.07	0.10	0.10
Največja hitrost toka	m/s	1.02	1.16	1.16	1.27	1.00

Najvišja izstopna temperatura in toplotna moč sta bili doseženi pri različici Talum (5), ki ji je sledila različica (3) s 14 navpičnimi vzporednimi kanali. Z drugimi besedami, lahko sklepamo, da je 14 vertikalnih kanalov s absorpcijsko širino 0,5 m bolj primeren kot 10 ali 11 kanalov. Ali je mogoče povečati število kanalov, še nismo podrobno preučili, vendar pa ni pričakovati večjega izboljšanja, saj bi bil toplotni vpliv med kanali verjetno prevelik.

Glede na izgube tlaka je očitna zmagovalka po pričakovanjih različica (1) z dvostransko napihnjenim prerezo kanala, vendar ta varianta za zdaj ne upošteva arhitekturnih zahtev gladke zunanje površine. Sledi različica (3), ki ji tesno sledi različica (2). Največja izguba tlaka je bila pri simulaciji za dve različici (4) in (5).

Če upoštevamo toplotno moč in izgubo tlaka skupaj, varianta (3) najbolje deluje s 14 navpičnimi kanali, saj le nekoliko zaostaja za toplotno močjo variante (5), vendar je izguba tlaka v primerjavi s tem le za polovico večja. Vendar je treba opozoriti, da je izguba tlaka na splošno zelo majhna, tako da bi bili obe različici (3) in (5) približno enako primerni za uporabo na STAF panelu.

Kot del razvoja prototipa je bila izvedena še ena CFD študija vzporedno s toplotnimi analizami, da bi izračunali izgubo tlaka za različne variante cevnih povezav za STAF ploščo. V ta namen je bila na izbranem profilu Talumove cevi (ki nastane pri lepljenju z zvitkom) na povezavi in podaljšanju cevi (spet na 10 mm krožni cevi) po izhodu iz vzorca narejena zožitev cevi (iz cevi s krožnim profilom in premerom 10 mm). Plošče (s 3 različnimi polmeri upogiba cevi). Različice so prikazane v kombinaciji s porazdelitvijo tlaka vode na notranji površini cevi na Slika 22. Med simulacijo smo z uporabo vode kot tekočine določili masni pretok 0,01386 kg / s (približno 50 l / h). Simulacijo so primerjali tudi s cevjo brez zožitve in razširitve ter s krožno cevjo s premerom 4,67 mm (ustreza cevi, v kateri ima prečni prerez enako površino kot profil kanalov Talum).



Slika 22: Primerjava kontur pritiska vode na notranji površini cevi.

Sklep iz simulacije je, da je izguba tlaka kljub uporabi Talumovega profila v primerjavi s krožnimi profili cevi bistveno večja, vendar je to še vedno daleč pod skrbjo za prenos medija skozi izgubo tlaka v krogu tekočine. Rezultati so povzeti v naslednji Tabela 4.

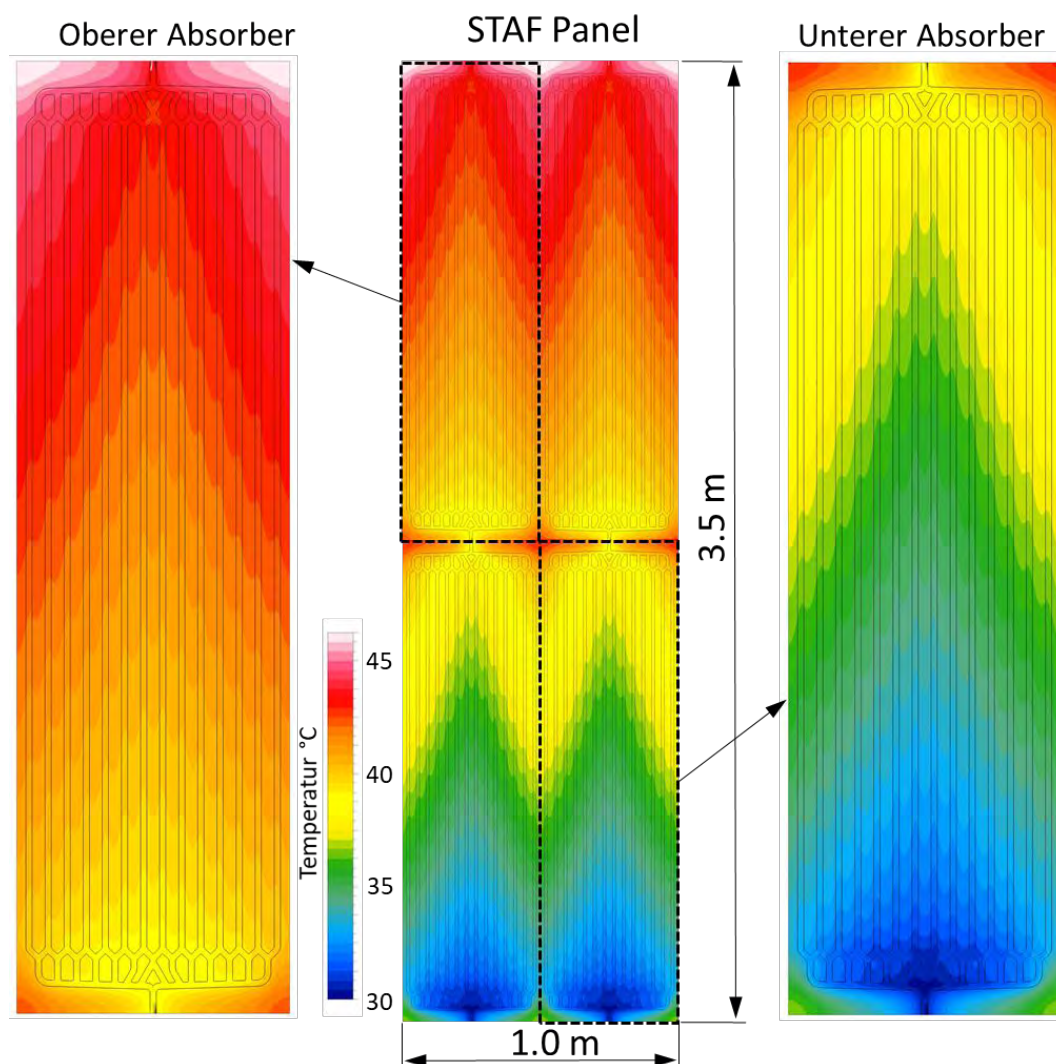
Tabela 4: Ocena simulacije razlike tlakov

Varianta/Opis		Vhod	Izhod
		Razlika v tlaku v Pa	
1	Talum-enostransko napihnjeno (11 mm), polmer 20 mm	2266	1752
2	Talum- enostransko napihnjeno (11 mm), polmer 10 mm	2334	1831
3	Talum- enostransko napihnjeno (11 mm), polmer 30 mm	2213	1699
4	krog (4,67 mm), polmer 20 mm	1491	995
5	krog (4,67 mm), polmer 10 mm	1549	1028
6	krog (4,67 mm), polmer 30 mm	1457	991
7	krog (10,0 mm), polmer 20 mm	66	66
8	krog (10,0 mm), polmer 10 mm	71	71
9	krog (10,0 mm), polmer 30 mm	64	64

10	Talum-enostransko napihnjeno (11 mm), ravno	1510	-
11	Krog (4,67 mm), ravno	982	-

Po testiranju STAF panela v manjšem merilu sta bili opravljeni še dve toplotni analizi, pri čemer je vsaka modelirala eno od dveh najbolj obetavnih različic iz prejšnje toplotne analize za dimenzijo STAF plošče 3,5 x 1,0 m (skupno protivrednost) 4-krat večja površina v primerjavi s prejšnjo analizo).

V prvi raziskavi je veljalo, da je 3,5 x 1,0 m STAF plošča z varianto harfe s 14 navpičnimi kanali brez steklenega pokrova zamenjala z mešanico voda / glikol (v razmerju 70/30 vol.%, za preprečevanje zamrzovanja tekočine pri nizkih temperaturah). Simulacijska metoda je spet enaka kot prej in opisana v [9]. Vse pomembne materialne vrednosti in materialne podatke objavlja v publikacijah Avsec et al. [10] ki so bile pripravljene in objavljene v okviru projekta ABS-Network SIAT-125. Plošča za simulacije je sestavljena, saj je proizvodnja v Talum d. d. trenutno omejena na velikost 2,0 x 0,5 m, in jo sestavljajo štiri absorberske plošče velikosti 1,75 x 0,5 m, ki so med seboj povezane. Tekočina je v tem primeru razdeljena na dva dovoda tekočine (in izstopa) in pretok je na obeh straneh enak. Temperaturne konture plošče, ki izhajajo iz analize osnovne variante, so prikazane na Slika 23 spodaj.



Slika 23: Temperaturni obrisi iz simulirane osnovne variante STAF plošče velikosti 3,5 x 1,0 m s 14-kanalnim vodnikom tekočega kanala za harfo.

Izhajajoč iz osnovnega scenarija z mejnimi vrednostmi zunanje temperature 30 ° C s koeficientom prenosa toplote (WüK) 25 W / m²K, sončnim sevanjem 1000 W / m² in kotom sevanja 45 °, notranjo

temperaturo 20 °C z WüK 5 W / m²K in temperatura vstopa 30 °C ter pretok 100 l / h na dovod tekočega kanala je bila izvedena analiza parametrov. Pri tej analizi so bili različni zunanja temperatura, WüK, temperatura vstopa tekočine, volumski pretok in sončno sevanje ter vpadni kot. Rezultati so povzeti v naslednji Tabela 5.

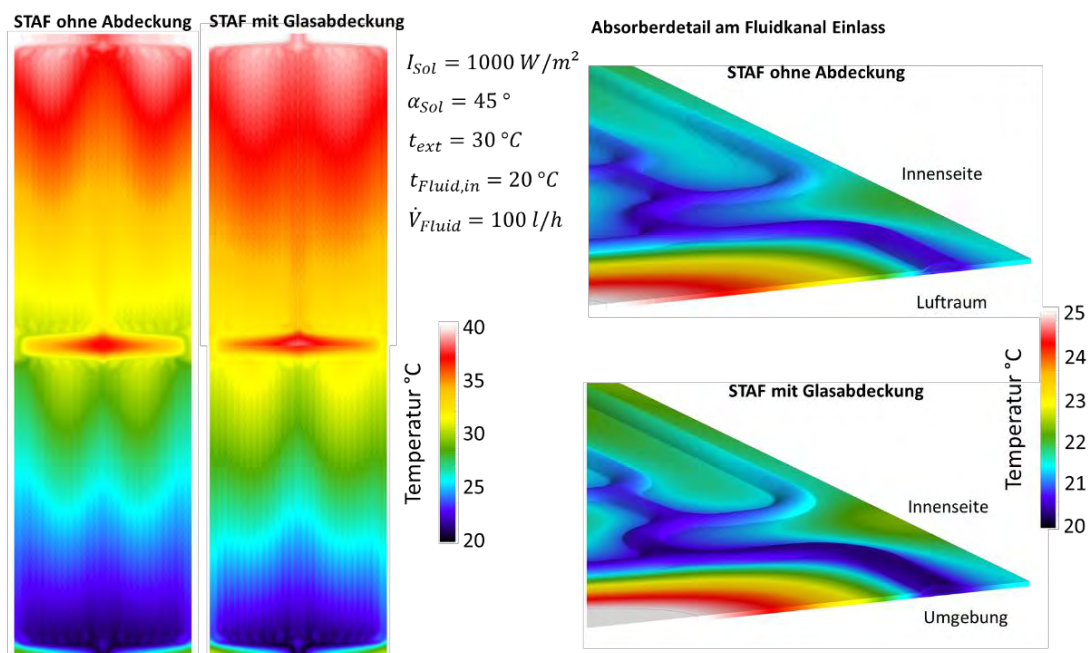
Tabela 5: Rezultati iz analize 3,5 x 1,0 m STAF panela s 14-kanalnim vodnikom fluidnih kanalov v obliki harfe.

Varianta	Vol. pretok	Zunanja temp.	Vhodna temperature fluida	Izhodna temperature fluida	Toplotna moč	Učinkovitost
	l/h	°C	°C	°C	W	-
S-00	100	30	30	43.3	1379.7	0.394
S-01 (volumski pretok 200 l/h)	200	30	30	38.4	1742.6	0.498
S-02 (volumski pretok 200 l/h)	50	30	30	48.1	943.0	0.269
S-03 (zunanja-/vhodna temp. 20 °C)	100	20	20	33.4	1393.3	0.398
S-04 (zunanja-/vhodna temp. 10 °C)	100	10	10	23.5	1407.8	0.402
S-05 (zunanja-/vhodna temp. 0 °C)	100	0	0	13.7	1421.3	0.406
S-06 (zunanja-/vhodna temp. -10 °C)	100	-10	-10	3.8	1436.9	0.411
S-07 (sevanje 500 W/m ²)	100	30	30	36.7	691.4	0.395
S-08 (vhodna temp. fluida 20 °C)	100	30	20	39.5	2027.5	0.579
S-09 (vhodna temp. fluida 10 °C)	100	30	10	35.7	2670.1	0.763
S-10 (vhodna temp. fluida 0 °C)	100	30	0	31.8	3309.5	0.946
S-11 (vhodna temp. fluida -10 °C)	100	30	-10	28.0	3945.8	1.127
S-12 (WüK zunaj 5 W/m ² K)	100	30	30	48.2	1892.3	0.541
S-13(WüK zunaj 100 W/m ² K)	100	30	30	35.9	615.5	0.176
S-14 (kot sončnega obsevanja 65°)	100	30	30	37.9	824.5	0.236
S-15 (kot sončnega obsevanja 20°)	100	30	30	47.6	1829.9	0.523

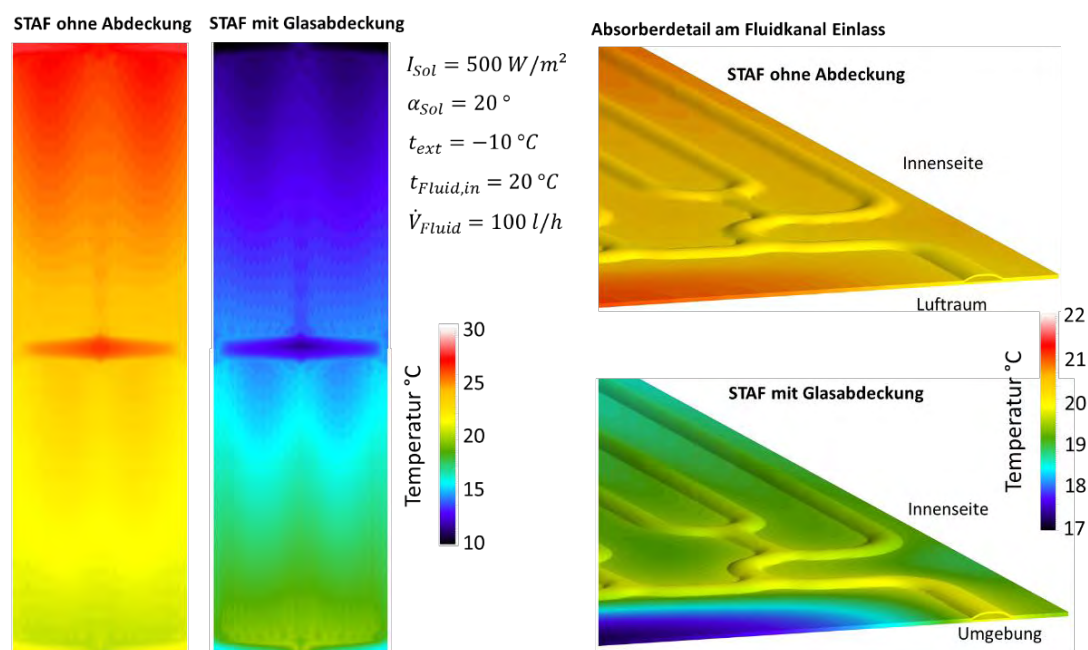
Simulacije so dale najvišjo izhodno temperaturo tekočine 48,2 °C (varianeta S-12). Največja moč 3,95 kW plošče STAF je bila dobljena za varianto S-11 z največjo razliko med zunanjo temperaturo in temperaturo vstopa tekočine, uporabljeno v simulaciji. Na splošno lahko trdimo, da veter močno vpliva na segrevanje tekočine. To ima pozitiven učinek, dokler je temperatura okolice višja od povprečne temperature absorberja. To pomeni, da plošča ni pokrita. Poleti deluje zelo dobro, ko je zunanja temperatura visoka, pozimi pa se redko ali celo ne doseže ogrevanje tekočine (ta učinek je razviden iz rezultatov naslednje CFD analize).

V končni analizi CFD v okviru projekta ABS Network je bila za različico 14-kanalne plošče Talum modelirana 3,5 x 1,0 m plošča z in brez dodatnega steklenega pokrova. Poleg različnih vodil kanalov tekočine ima plošča enako strukturo kot v prejšnji študiji (Slika 23), v različici s steklenim pokrovom pa je steklo pred absorpcijsko steno na razdalji 40 mm. Zračni prostor med absorberjem in steklom je bočno obdan z aluminijastimi pasovi, kar ustvarja zaprt zračni prostor, ki s konvekcijo znatno zmanjša toplotne izgube. Rezultati te analize so predstavljeni v drugi publikaciji Avsec et al.[11] in bodo v veliki meri objavljeni in predstavljeni jeseni na konferenci ISES 2019.

Primerjava temperaturnih kontur na zunanem absorpcijskem panelu med nepokrito in pokrito ploščo STAF je prikazana na Slika 24 za poletne razmere, na Slika 25 pa za zimske razmere, so vključene tudi mejne vrednosti. Na podlagi temperaturnih kontur je jasno razvidno, da je v poletnih razmerah, ko je zunanja temperatura približno 10 K višja od temperature dovoda tekočine, ogrevanje na absorberju približno enako (toplota je pri nekriti plošči nekoliko višja). V zimskih razmerah pa lahko ohlajanje tekočine do iztoka tekočine iz kanalov absorberja jasno opazimo za odkrito ploščo, medtem ko bi se v različici s steklenim pokrovom lahko tekočina še povečala za 6,6 K..



Slika 24: Primerjava temperaturnih kontur absorberja med pokritimi in nepokritimi STAF paneli v poletnih razmerah.



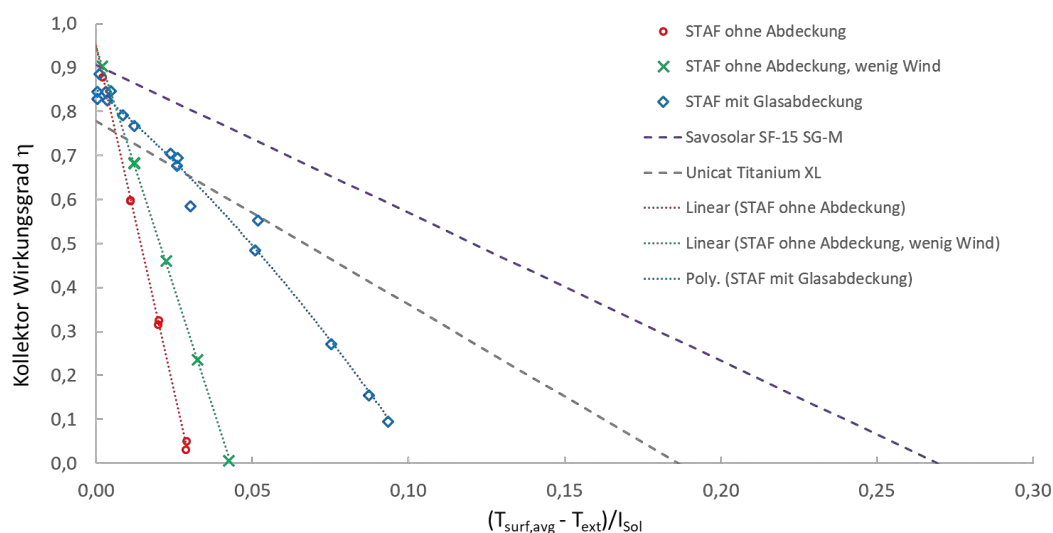
Slika 25: Primerjava temperaturnih kontur absorberja med pokritimi in nepokritimi STAF paneli v zimskih razmerah.

Naslednja tabela povzema vse rezultate, vključno z mejnimi vrednostmi simulacije. Iz teh rezultatov so nato nastale tako imenovane karakteristike kolektorjev, s pomočjo katerih poenostavljeni (na podlagi enačbe) modeli kolektorjev, lahko zagotovijo potrebne informacije za izvajanje dinamične letne simulacije (glej poglavje **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), saj se pogosteje uporabljajo pri gradnji in simulaciji zgradb. Za nepokriti STAF panel s Talumovim konceptom kanalov je bil ustvarjen kolektor, tako za normalne kot tudi za šibke vetrovne razmere (zaradi močnega vetrovnega vpliva). Za panel s steklenim pokrovom je povsem zadoščala značilna krivulja.

Tabela 6: Rezultati analize parametrov za pokrit in nepokrit STAF panel velikosti 3,5 X 1, 0 m.

Varianta	Sončno obsevanje W/m^2	Kot sonč. Obsev. $^\circ$	Koeficient prenosa toplote W/m^2K	Zunanja temperatura $^\circ C$	Vhodna temp. Fluida $^\circ C$	Volumenski tok l/h	Vhodna temp. Fluida $^\circ C$	ΔT K	Toplotna moč W/m^2	Učinkovitost $-$
STAF-001	1000	45	25	30	20	100	38.7	18.7	621	0.88
STAF-002	1000	45	25	30	10	100	34.6	24.6	818	1.16
STAF-003	1000	45	25	30	30	100	42.7	12.7	422	0.60
STAF-004	1000	45	25	30	40	100	46.7	6.7	223	0.31
STAF-005	1000	45	25	30	50	100	50.6	0.6	21	0.03
STAF-006	500	45	25	30	30	100	36.4	6.4	211	0.60
STAF-007	500	45	25	20	30	100	30.5	0.5	17	0.05
STAF-008	1000	45	25	20	30	100	36.9	6.9	229	0.32
STAF-009	500	20	25	-10	20	100	11.4	-8.6	-284	-
STAF-Steklo-001	1000	45	25	30	20	100	38.0	18.0	597	0.84
STAF-Steklo-002	1000	45	25	30	20	80	42.0	22.0	583	0.82
STAF-Steklo-003	1000	45	25	30	20	60	48.2	28.2	560	0.79
STAF-Steklo-004	1000	45	25	30	20	50	52.7	32.7	542	0.77
STAF-Steklo-005	1000	45	25	10	20	100	34.8	14.8	492	0.70
STAF-Steklo-006	1000	45	25	-10	20	100	31.8	11.8	390	0.55
STAF-Steklo-007	1000	45	25	30	10	100	29.7	19.7	652	0.92
STAF-Steklo-008	1000	45	25	30	40	100	54.4	14.4	478	0.68
STAF-Steklo-009	1000	45	25	30	60	100	70.3	10.3	343	0.48
STAF-Steklo-010	1000	30	25	30	20	100	42.1	22.1	731	0.84
STAF-Steklo-011	1000	60	25	30	20	100	32.3	12.3	407	0.81
STAF-Steklo-012	1000	30	25	30	40	100	58.4	18.4	610	0.70
STAF-Steklo-013	1000	60	25	30	40	100	48.8	8.8	292	0.58
STAF-Steklo-014	1000	45	100	30	20	100	37.7	17.7	586	0.83
STAF-Steklo-015	1000	45	5	30	20	100	38.9	18.9	626	0.89
STAF-Steklo-016	500	45	25	30	20	100	29.9	9.9	328	0.93
STAF-Steklo-017	250	45	25	30	20	100	25.7	5.7	189	1.07
STAF-Steklo-018	1000	0	25	30	20	100	45.6	25.6	847	0.85
STAF-Steklo-019	1000	45	25	30	80	100	85.8	5.8	192	0.27
STAF-Steklo-020	1000	45	25	30	90	100	93.3	3.3	110	0.16
STAF-Steklo-021	1000	45	25	30	95	100	97.0	2.0	68	0.10
STAF-Steklo-022	500	20	25	-10	20	100	26.6	6.6	220	0.47

Na Slika 26 so prikazane značilne krivulje kolektorja in primerjava s sončnimi toplotnimi kolektorji, ki so na voljo na trgu, podatki pa prihajajo iz spletnega vira [12].



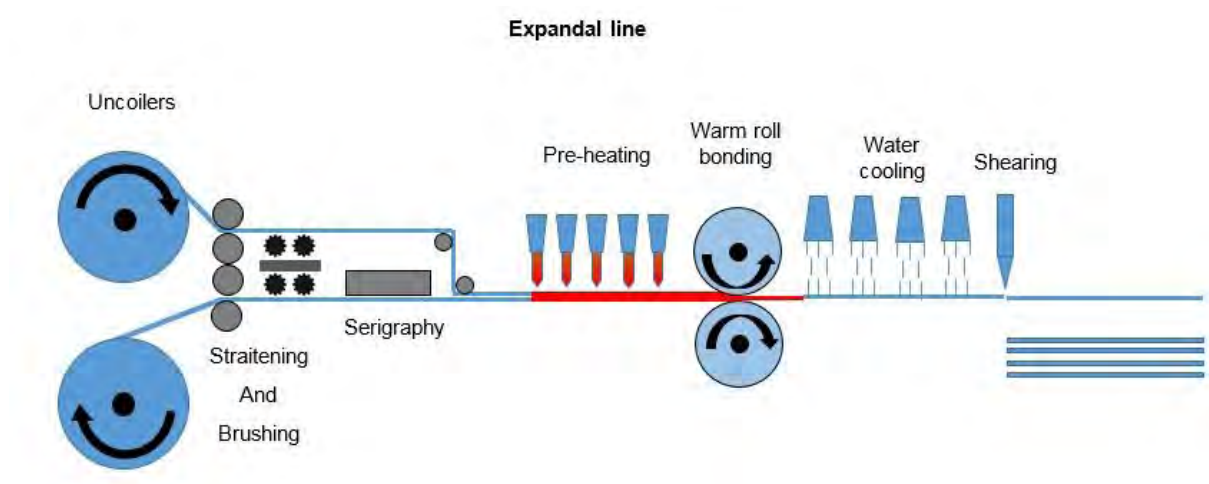
Slika 26: Primerjava značilnosti kolektorja STAF panela z značilnimi krivuljami za kolektorje, ki so na voljo na trgu.

Pri visokih zunanjih temperaturah je učinkovitost odkritega STAF panela celo večja od učinkovitosti izdelkov na trgu, saj je steklena varianta na po učinkovitosti na sredi med dvema tržnima izdelkoma. Odkrit absorber STAF panela ne more več konkurirati ob padcu zunanje temperature, saj so rezultati STAF panela s steklenim pokrovom je pod rezultati slabšega izdelka na trgu z osno vrednostjo 0,03.

Zaenkrat je bila v simulaciji uporabljena običajna steklena plošča, aluminijaste stranske plošče pa niso bile izolirane. Zato se je domnevalo, da se lahko z nekaj konstruktivnimi in materialno-tehničnimi izboljšavami krivulja učinkovitosti ohrani v sredi teh dveh lastnosti kolektorja.

2.1.2 Optimizacija produkcijskega procesa

Postopek "platiniranega valjanja" je postopek deformacije na trdnem stanju s spajanjem za proizvodnjo kompozitnih plošč iz dveh ali več slojev podobnih ali celo različnih kovinskih plošč [13]. Metoda se lahko uporablja pri sobni temperaturi ali pri višji temperaturi. Predgrevanje listov, ki jih je treba spajati pred valjanjem, poveča duktilnost končnega izdelka in izboljša tudi spajanje plošč [14] [15]. S povečanjem segrevanja pred valjanjem se mehanska energija, potrebna za postopek, zmanjšuje in s tem tudi deformacija plošč, ki je potrebna za doseganje ustrezne vezivnosti [16] [17]. S platiniranim valjanjem vezane aluminijaste plošče s hladilnimi kanali, ki so bili napihnjeni v vpihovanjem stisnjenega zraka, se običajno uporabljajo v zamrzovalnikih, hladilnikih, uparjalnikih ali toplotnih izmenjevalcih [13]. Da preprečimo, da bi se plošče na območju poznejšega hladilnega kanala med valjanjem združile, se na ta območja nanaša sredstvo za ločevanje (npr. grafitna pasta). To lahko dosežemo s sitotiskanjem na površini spodnje plošče. Tipičen postopek izdelave teh izdelkov (npr. izmenjevalec toplote) vključuje sitotisk, vroče valjanje (glej Slika 27) in nato napihovanje kanalov s stisnjenim zrakom.

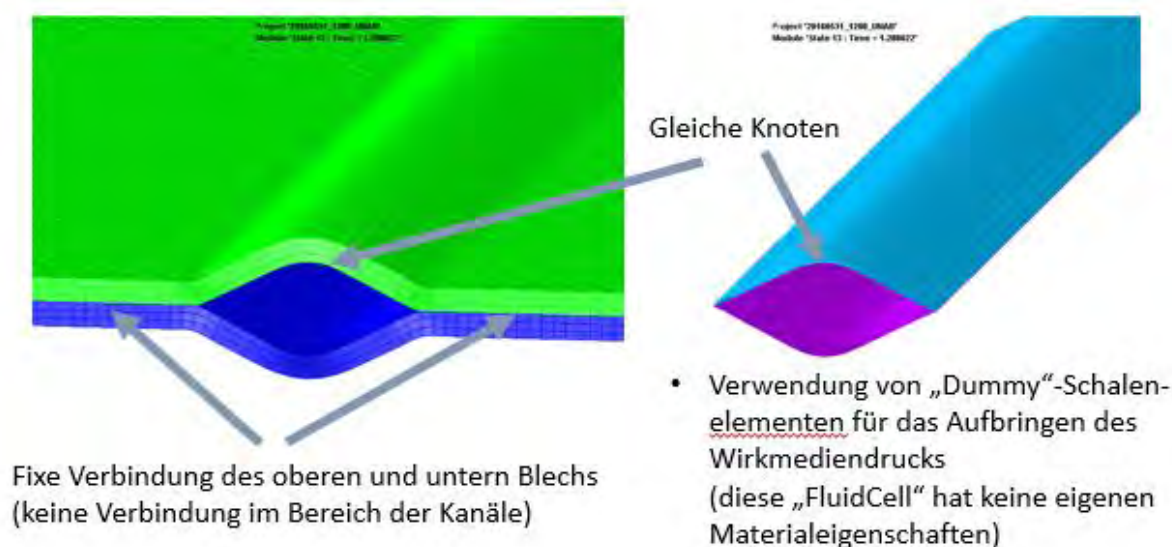


Slika 27: Proces platiniranega valjanja – sitotisk, ogrevanje, vroče valjanje, hlajenje in obrezovanje



Slika 28: platinirano valjan aluminijast absorber, in detajlni pogled prereza kanala

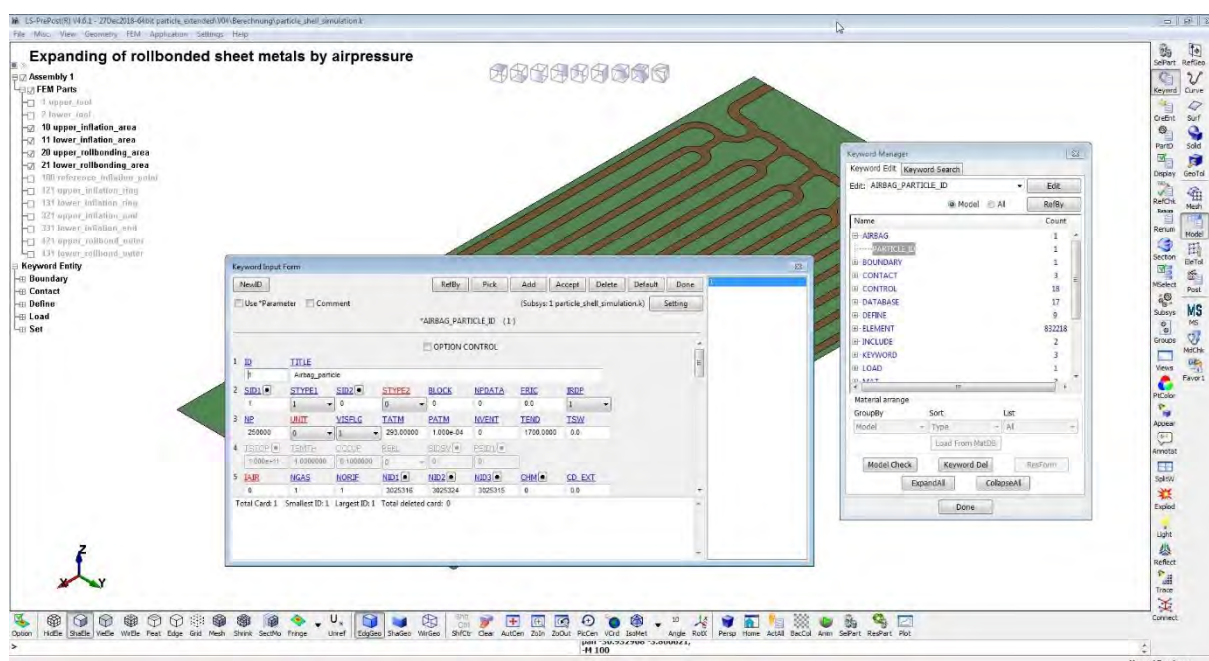
Vendar pa so toplotna in hidravlična učinkovitost plošč v veliki meri odvisna od zasnove kanala in geometrije ali oblike prereza kanala [18] [19] – glej Slika 28. Zasnova kanalov ne vpliva samo na učinkovitost, temveč tudi na izdelavo plošče. Neugodna zasnova (npr. premajhni polmeri ali preseki kanalov) lahko povzročijo lokalno prekinitev kanala zaradi pritiska stisnjenega zraka med napihovanjem. To pomeni nepopravljivo škodo na plošči med napihovanjem kanalov. Optimalna nastavitve procesnih parametrov za preprečevanje napak na kanalih ob ohranjanju zahtevane geometrije kanala je temeljna kompetenca industrijskih proizvajalcev teh plošč, saj poteka iskanje optimalnih nastavitvenih parametrov v proizvodnji pogosto neposredno na stroju po načelu "preizkus in napaka". Da bi zmanjšali stroške, povezane s to metodologijo, je bil v tem projektu postavljen numerični model, ki lahko preslikava napihovanje kanalov s stisnjenim zrakom v aluminijastih ploščah, ki so izdelane s tehnologijo platiniranega valjanja.



Slika 29: PamStamp simulacija „majhnih“ struktur

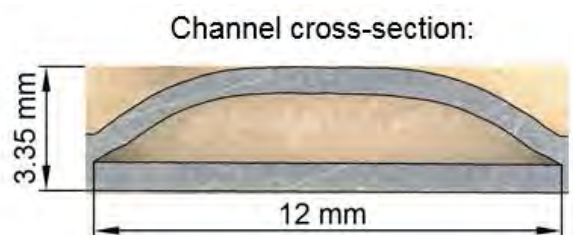
Na začetku projekta smo po temeljiti analizi dejanskega procesa s poenostavljeno geometrijo plošče razvili simulacijski model s simulacijskim programom PamStamp2G podjetja ESI s posebnim namenom izračuna napihovanja kanalov. Šibka točka razvite metodologije (= klasična simulacija hidroformiranja) je ta, da ima notranji tlak v kanalu stalen časovni učinek na celotni notranji površini – glej Slika 29. Pri ustreznih optimizacijah modela je območje, na katerega tlak deluje, lahko časovno odvisno. Vendar je to prav tako majhen fizični učinek (primerjava z modelom "požarne cevi"). V resnici človek ne pozna "napredka" napihovanja, saj bi ga bilo treba vedno znova dejansko predhodno izmeriti.

Po obsežnih raziskavah in stikih z več ponudniki programov simulacijske programske opreme je simulacijski program LS-DYNA za splošne namene podjetja LSTC pokazal obetavne možnosti za napolnitev zaprtih geometrijskih teles (npr. cevi ali hladilnega kanala) s plinastim medijem pod pritiskom. Ta funkcija se med drugim uporablja za simulacijo zračnih blazin. Opisali bomo, kako je bil tekom tega projekta zgrajen in razviti simulacijski model LsDyna – glej Slika 30.



Slika 30: Simulacijski model - napihovanje hladilnih kanalov plošč, izdelanih s platiniranim valjanjem, LsPrePost/LsDyna GUI

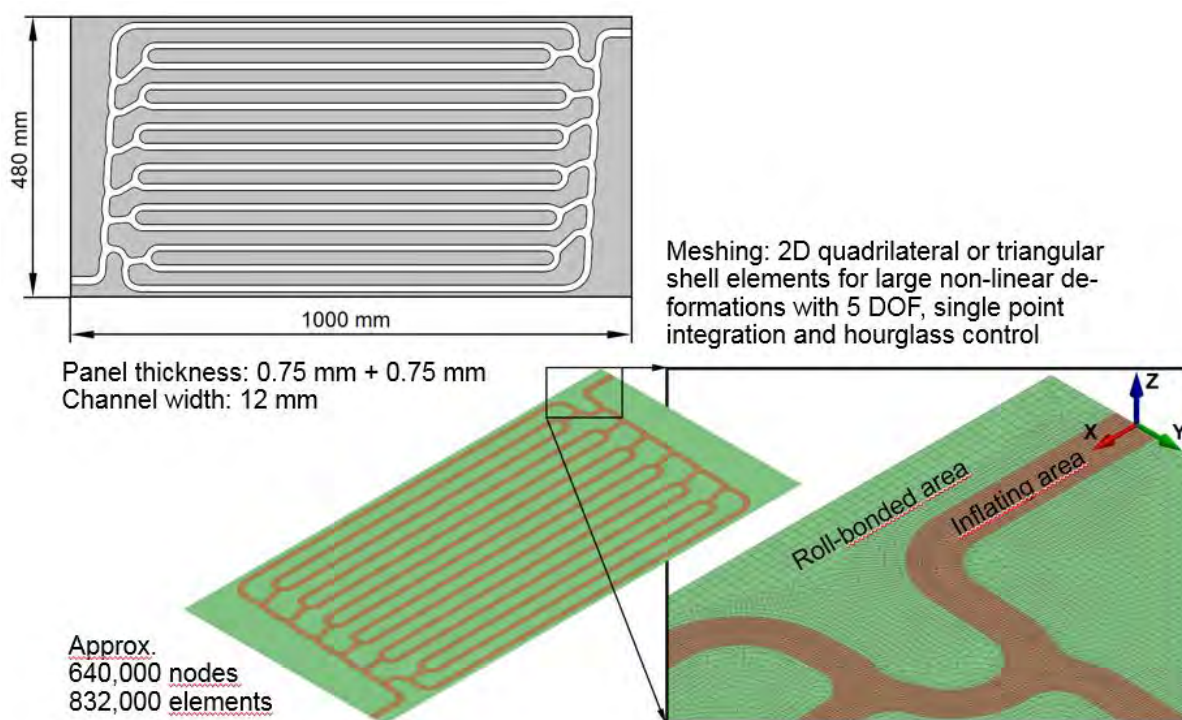
Model simuliranega absorberja meri 1000 x 480 x 1,5 mm (0,75 mm + debelina pločevine 0,75 mm) in je sestavljen iz štirih komponent: "mehke" zgornje plošče iz aluminijeve zlitine (EN AW-1050), "trde" spodnje plošče iz aluminijeve zlitine (AA-1250), zgornje plošče z orodjem in spodnje plošče z orodjem. Plošče za orodje so bile opredeljene kot toga telesa ("Rigid Bodies"), aluminijeve plošče pa kot deformabilne. Razdalja med ploščami je 3,35 mm, kar ustreza končni skupni debelini plošče po napihjenosti kanalov – glej Slika 31. Vsaka od obeh plošč je sestavljena iz enega območja, ki je s platiniranim valjanjem povezano z nasprotno ploščo, in enega območja poznejšega kanala (ni povezano z nasprotno pločevino) – glej Slika 32. Na območju kanala se vozlišča zgornje in spodnje plošče lahko ločijo med seboj, na območju, ki je spojeno s platiniranim valjanjem, so vozlišča pritrjena in neločljiva.



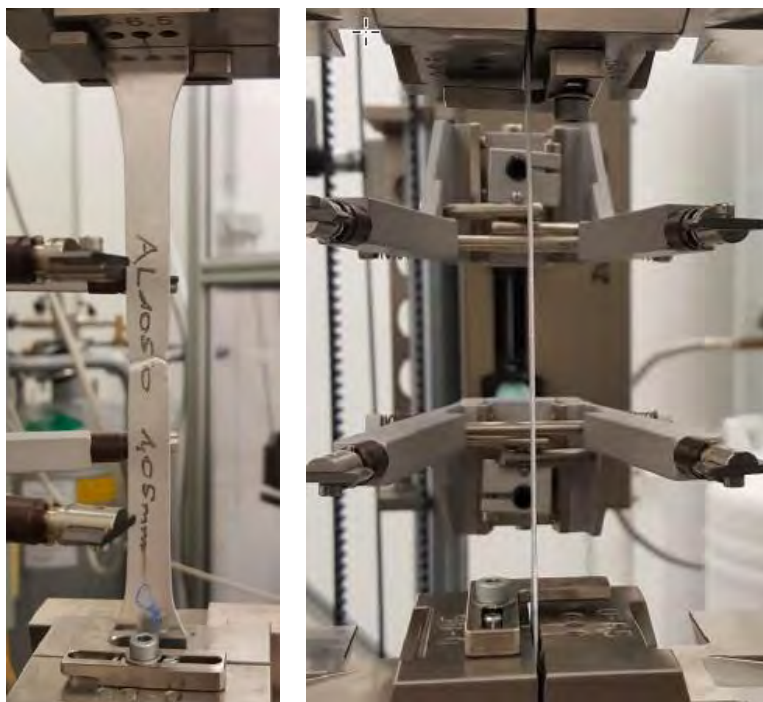
Distance between tool plates: 3.35 mm

Slika 31: Geometrija kanala v prerezu

Povečan detajl na Slika 32 prikazuje položaj dovoda plinastega aktivnega medija (glej položaj in orientacijo koordinatnega sistema). Območje med kanali je ostalo v svojem izhodiščnem položaju, da bi zmanjšali deformacijo spodnje plošče. plošča je bila navzkrižno povezana s štirioglatimi in trikotnimi elementi lupine, ki so definirani za velike nelinearne deformacije s petimi stopnjami variance (5DOF). Elementi lupine plošč imajo pet točk integracije nad debelino elementov, elementi orodja imajo tri integracijske točke.



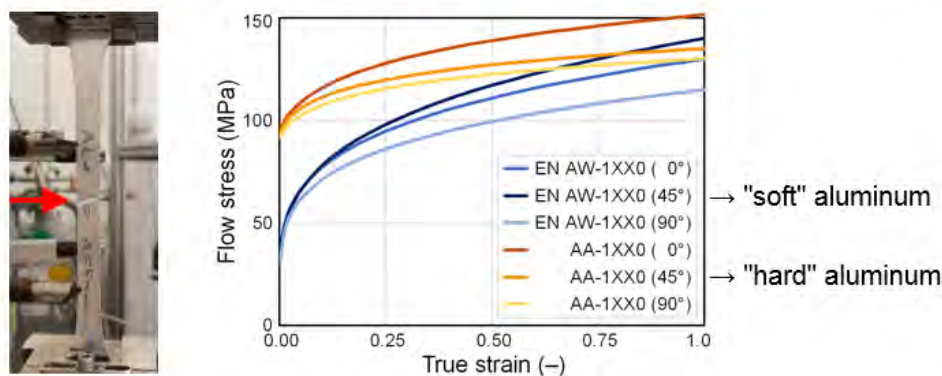
Slika 32: geometrija simuliranega absorberja, predstavitev omrežja



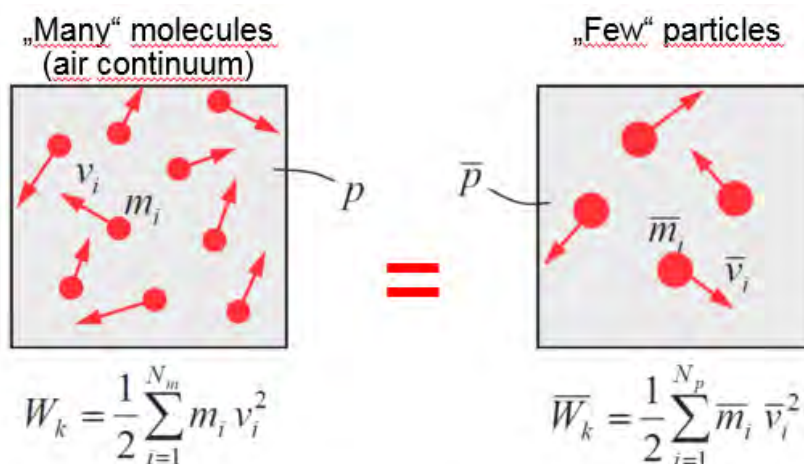
Slika 33: Natezni testi za EN AW-1050 in AA-1250

Elastoplastične lastnosti obeh materialov, EN AW-1050 in AA-1250, smo določili z ustreznimi nateznimi preskusi (glej Slika 33). Vzorci za natezni preskus so bili izdelani iz posebej izdelanih ploščic, ki so šle skozi enak postopek industrijskega lepljenja kot pri preizkušeni plošči. Na podlagi rezultatov nateznih preskusov smo z modelom Swift ekstrapolirali krivulje pretoka materiala za smeri 0°, 45° in 90° v smeri valjanja [20]. Krivulje pretoka, fizikalne značilnosti in značilnosti anizotropije so prikazane na Slika 34. Za mesto vtoka je bil uporabljen model Barlat-89[21].

Young's modulus	69 GPa
Poisson's number	0.33
Density	2.700 kg/m ³
Anisotropies r_{00} , r_{45} and r_{90} of the EN AW-1XX0 sheet	1.18, 0.40 and 0.60
Anisotropies r_{00} , r_{45} and r_{90} of the AA-1XX0 sheet	0.62, 0.95 and 0.45
Parameter m for FCC materials, e.g. for aluminum	8

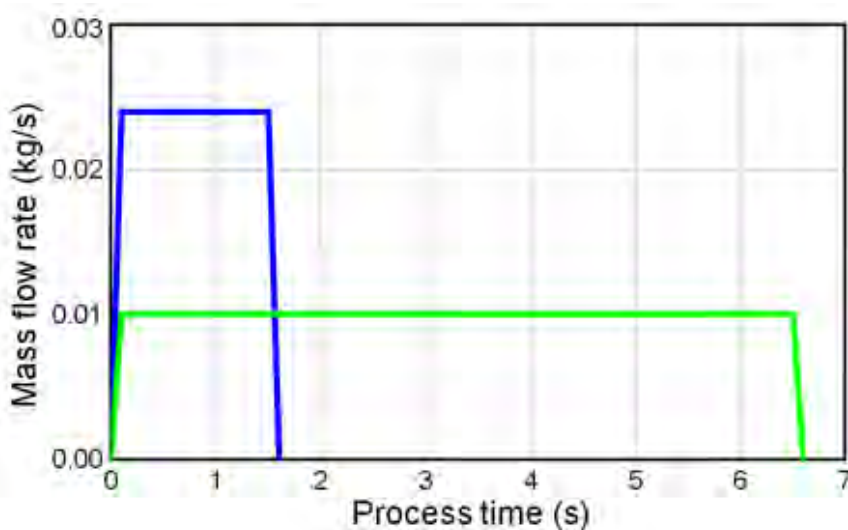


Slika 34: Materialni podatki za EN AW-1050 in AA-1250



Slika 35: CPM - corpuscular particle method

"Metoda korpuskularnih delcev" (CPM), implementirana v LsDyna, je bila uporabljena za modeliranje pretoka stisnjenega suhega zraka med postopkom napihovanja. Metoda CPM je bila prvotno razvita za simulacijo zračnih blazin [22] [23]. Temelji na "kinetični molekularni teoriji" in nadomešča Eulerov pretok plinastega kontinuuma z lagrangijevim gibanjem delcev z enakovredno translacijsko kinetično energijo. Preprosto povedano, učinek ali reprezentacijo plina z nešteto molekulami nadomešča "malo" delcev, ki imajo približno enake lastnosti. Osnova za izračun lastnosti plina je enačba idealnega plina.

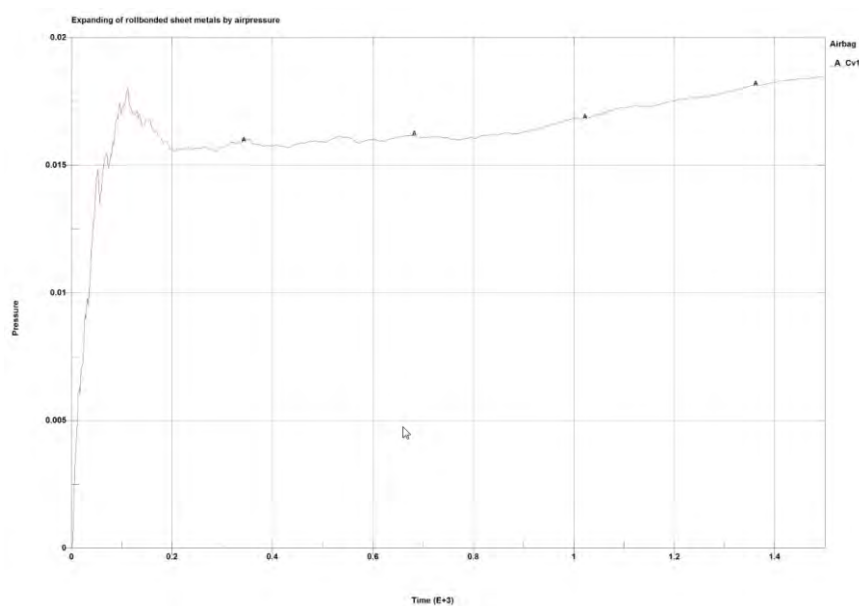


Slika 36: Stalni masni pretok / čas za napihovanje hladilnih kanalov v 2 različnih simulacijskih različicah

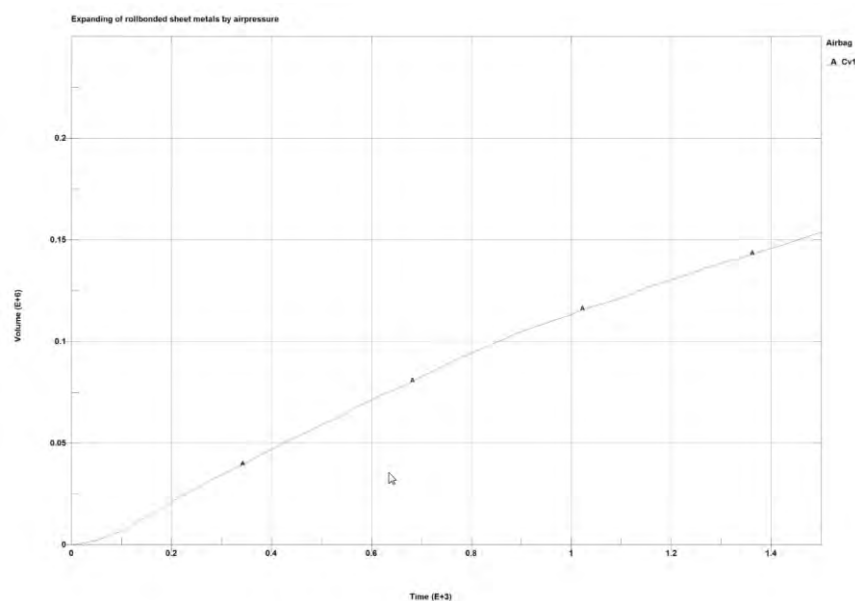
Za izračun različnih različic plošč smo spreminjali ustrezne procesne parametre. Na Slika 36 in Slika 37 sta na primer prikazani dve možni različici postopka. Slika 36 prikazuje konstantni izbrani masni pretok / čas, ki je vzrok za povečanje tlaka znotraj kanala in tako vodi v nastanek kanala. Slika 37 povzema lastnosti suhega zraka, ki se uporablja za napihovanje. Da bi racionalizirali čas računanja modela, smo uporabili selektivno masno skaliranje za vse elemente simulacijskega modela, ki se je aktiviralo v časovnih korakih pod $1,4 \times 10^{-6}$ sekund. Stik pločevine in orodja je bil realiziran prek enostranskih stikov med površino (statični koeficient trenja = 0,15). Da bi lahko izračunali izjemno velik model (> 800.000 elementov), smo model izračunali vzporedno na izračunskem grozdu TU Graz z izračunom MPP-Solverja (Massively Parallel Processing) na 20 CPU jedrih.

	Variant 1	Variant 2
Total number of particles	250,000	324,000
Maximum mass flow rate for of the fluid (dry air)	0.024 kg/s	0.010 kg/s
Molar mass of the fluid	0.029 kg/mol	
Specific heat capacity of the fluid	28.9 J/mol·K	
Total process time	1.7 s	6.7 s
Atmospheric pressure	1 bar (10^{-4} GPa)	
Atmospheric temperature (= constant process temp.)	293 K (20 °C)	
Coefficient of friction between the components	0.15	

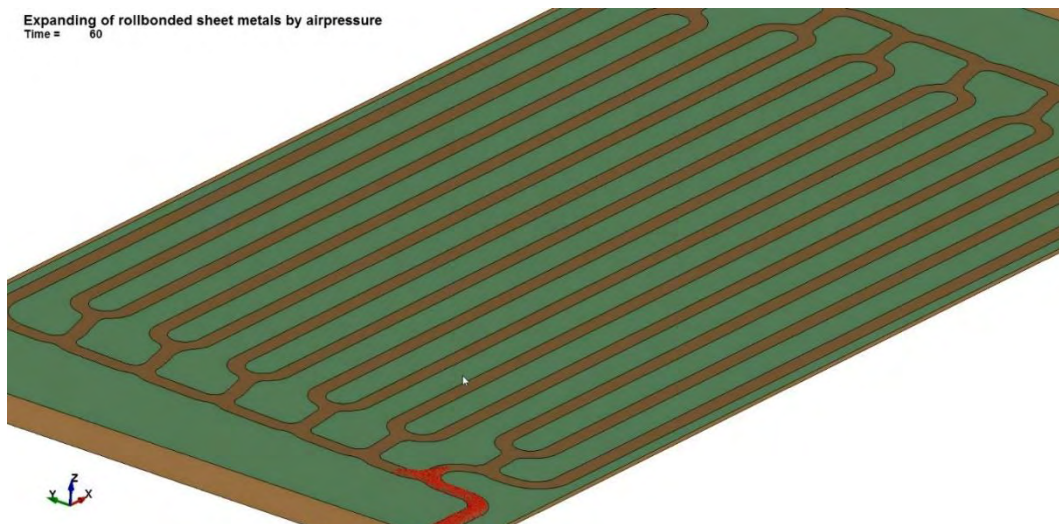
Slika 37: Parametri procesa in parametri materiala "suh zrak" za 2 različni simulacijski različici



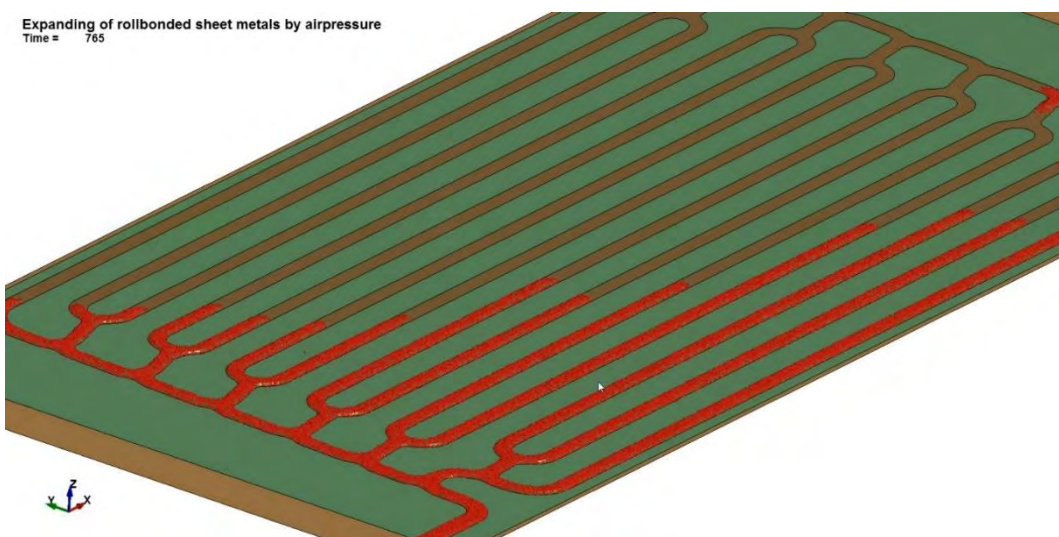
Slika 38: Rezultat simulacije - učinkovit notranji tlak



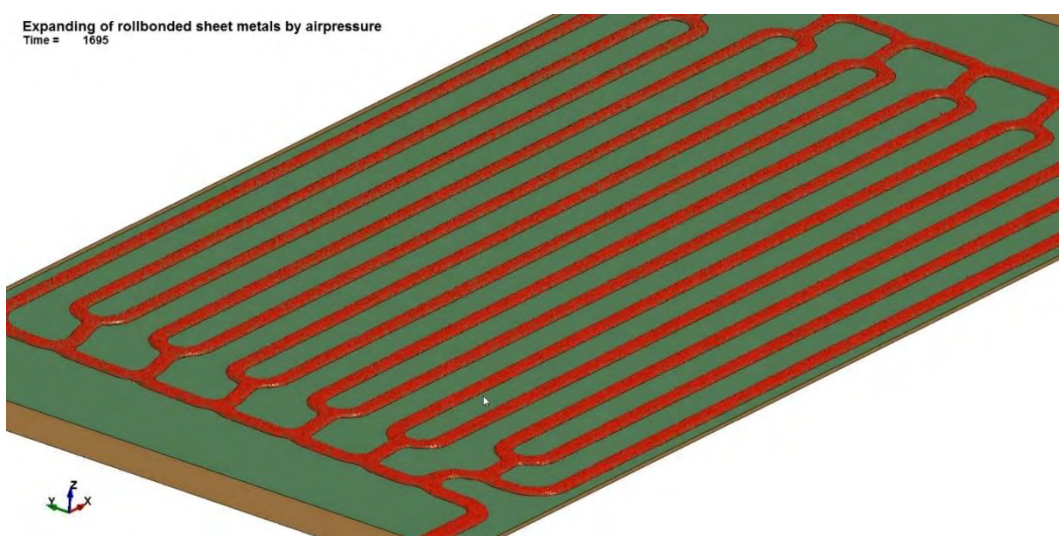
Slika 39: Rezultat simulacije - skupni volumen napihnjene kanala



Slika 40: Napihovanje kanala s plinastim aktivnim medijem - začetek animacije



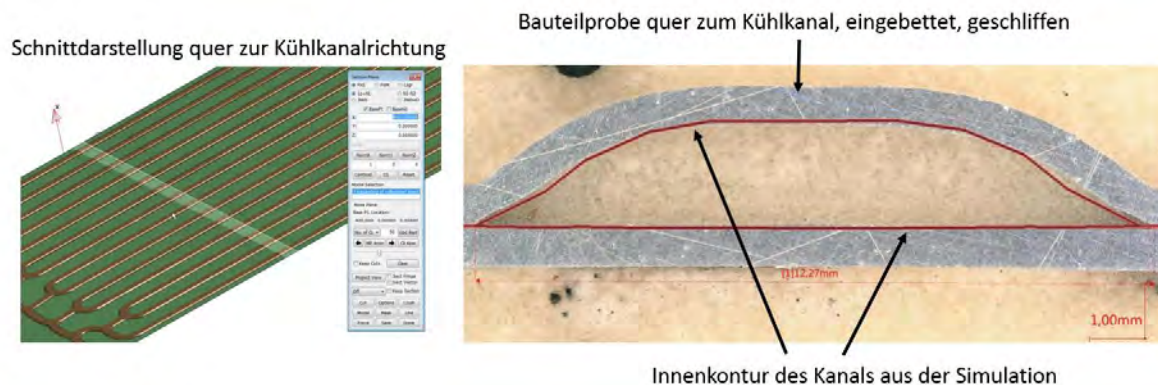
Slika 41: Napihovanje kanala s plinastim aktivnim medijem – sredina animacije



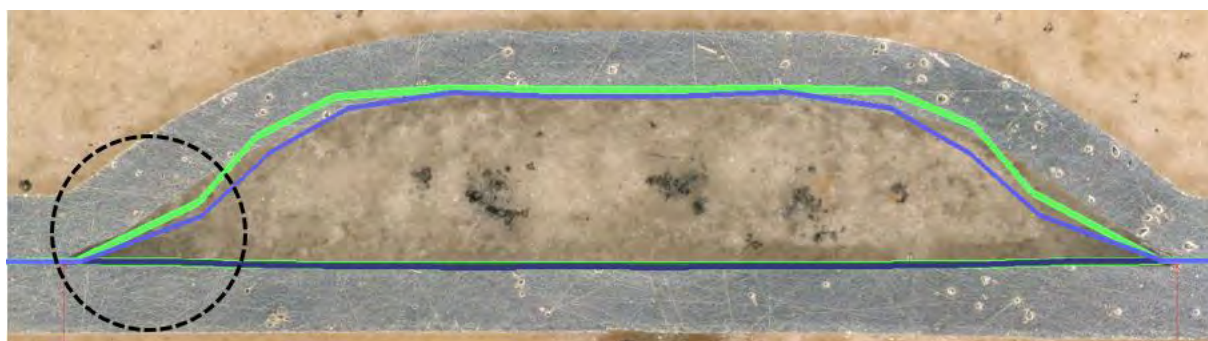
Slika 42: Napihovanje kanala s plinastim aktivnim medijem – konec animacije

Slika 38 in Slika 39 prikazujeta rezultate simulacije "efektivni notranji tlak v kanalu" in "celotni volumen napihnjenega kanala" tekom časa napihovanja.

Slika 40 do Slika 42 prikazujejo časovni potek napihovanja kanala s plinastim aktivnim medijem (delci, prikazani v rdeči barvi).



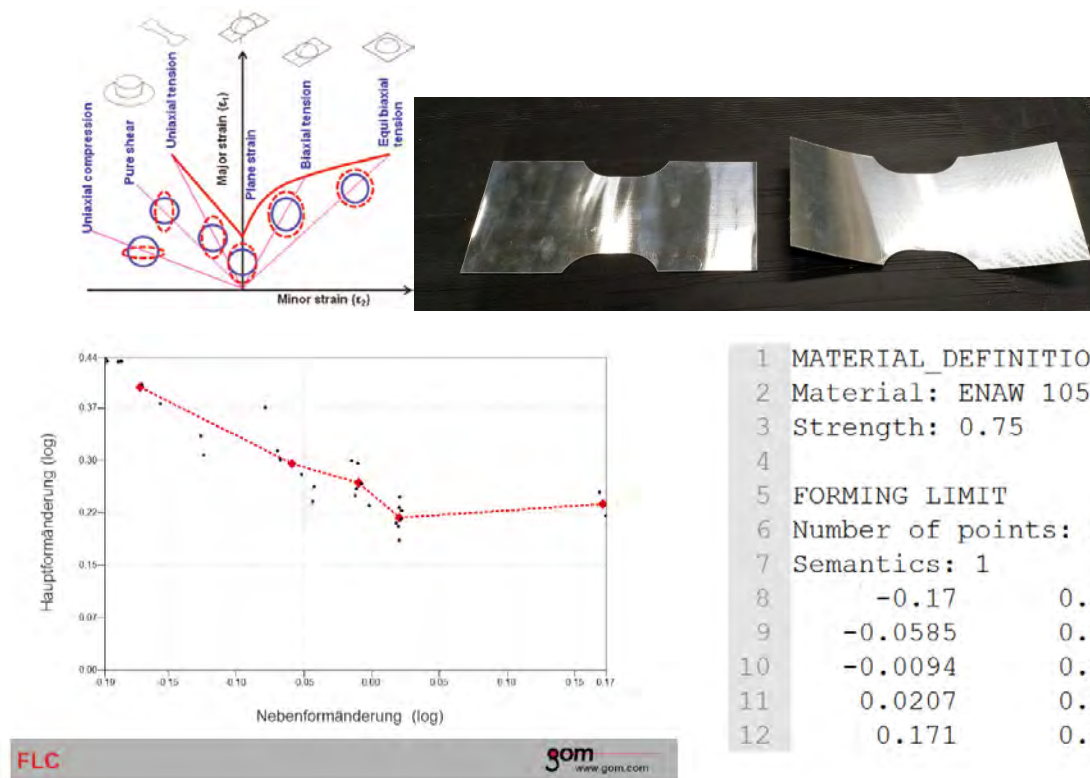
Slika 43: Primerjava notranje konture kanala iz simulacije s pravim presekom



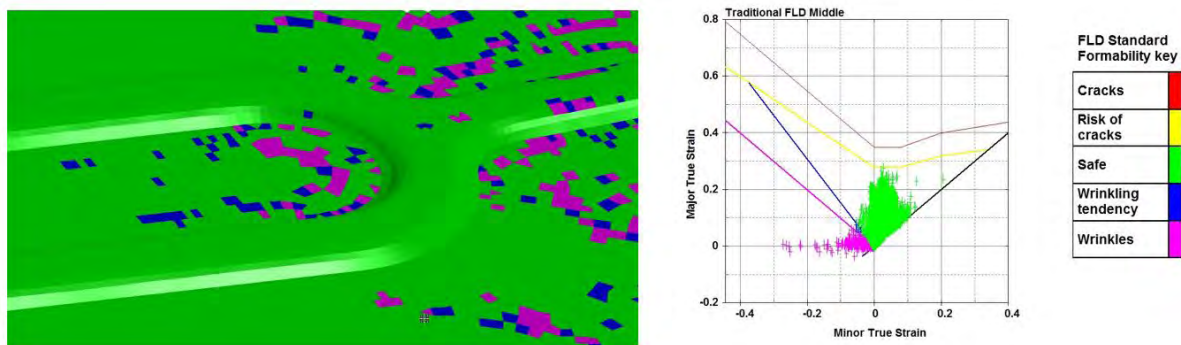
Slika 44: Primerjava notranje konture kanala iz simulacije (primera različici 1 in 2) s pravim presekom

Slika 43 in Slika 44 primerjata simulacijo s pravim presekom. Glede na uporabljene parametre simulacije (na primer različica 1 in različica 2 na Sliki 44) se pojavijo različni rezultati ali odstopanja od realnega stanja. Treba je opozoriti, da bi bilo za optimalne rezultate treba zmanjšati velikost elementov lupine, kar pa bi znatno povečalo čas računanja modela in bi bilo le pogojno izvedljivo.

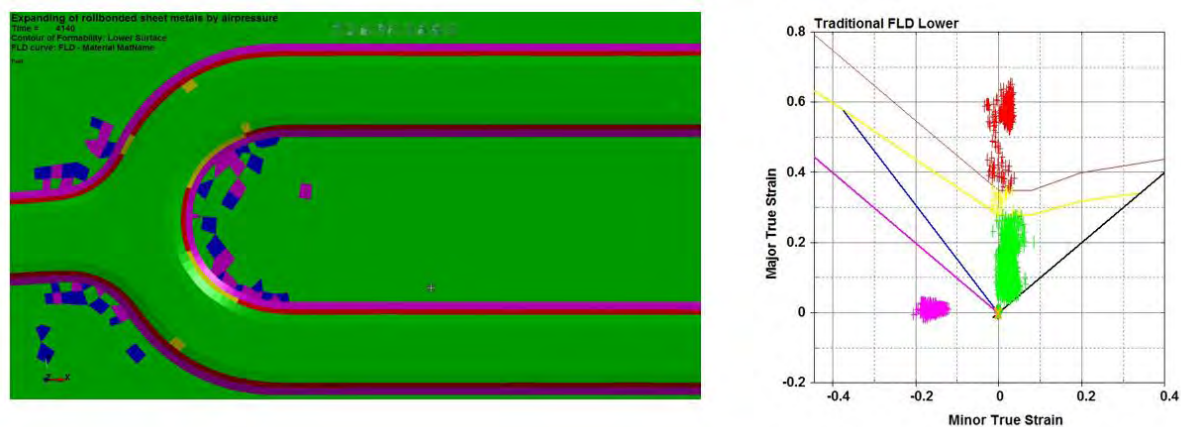
Da bi lahko ocenili napihnjenost plošč glede na njihovo oblikovanje, je bilo treba določiti diagram spreminjanja mejnih oblik iz mehkejše zgornje plošče, v kateri je potekalo tudi obsežno preoblikovanje. Na podlagi iste metode kot v vzorcih nateznega preskusa smo tudi tukaj izdelali različne vzorce, ki smo jih naknadno obremenjevali do napake s preskusom Nakazima. Stanje obremenitve ob pojavu razpoke se nato izriše v grafu in mejna krivulja obremenitve se interpolira - glej Slika 45. Za elemente v simulaciji, katerih napetost je nad to FLC krivuljo, lahko predpostavimo napako v obliki razpoke - glej na primer Slika 46 in Slika 47.



Slika 45: Določena krivulja mejne deformacije za material EN AW-1050

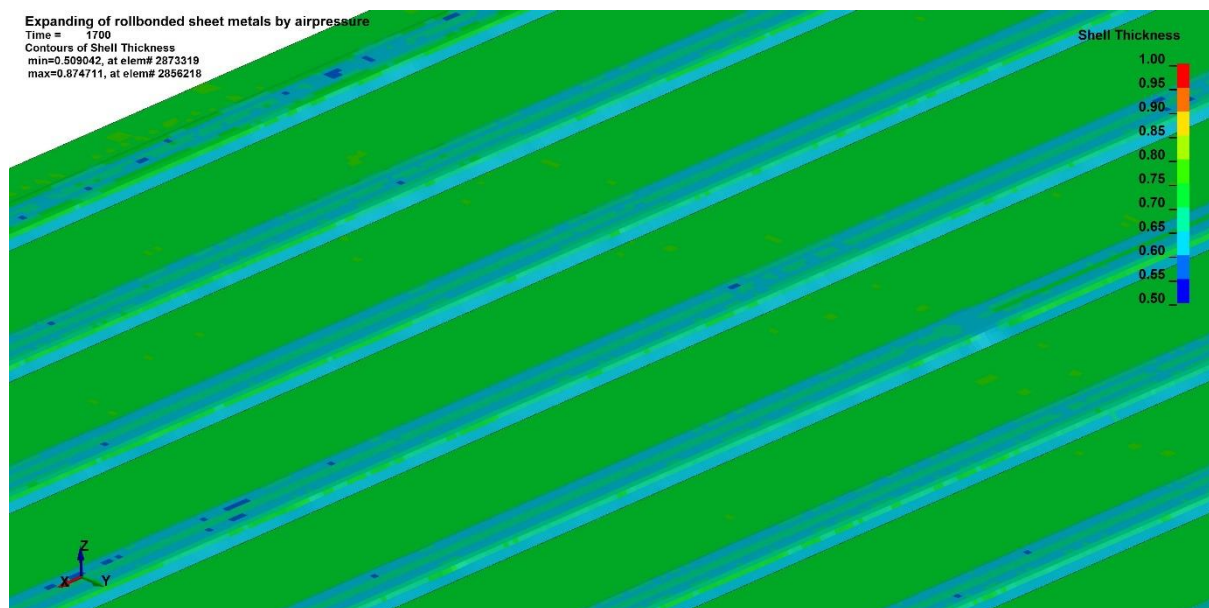


Slika 46: primerjalni rezultati simulacije št. 1 zgornja plošča s FLC EN AW-1050 – gradbeni element



Slika 47: primerjalni rezultati simulacije št. 2 zgornja plošča s FLC EN AW-1050 – napaka v obliki razpoke

Drugi rezultat simulacije je debelina izračunane komponente, ki jo je mogoče izvesti neposredno s parametrom PostProcessing "Debelina lupine" - glej primer Slika 48.



Slika 48: Rezultat simulacije debelina komponente („Shell Thickness“)

Povzetek / Možnosti za prihodnost / Možnosti za optimizacijo

V projektu je bil razvit simulacijski model, s katerim je možna realna simulacija napihovanja zvitkov, ki je povezan z zvitki in ki je na voljo partnerjem za prihodnjo optimizacijo proizvodnega procesa teh komponent. Metoda korpuskularnih delcev (CPM) je bila uspešno uporabljena v simulacijskem modelu za slikanje visokotlačnega plinastega aktivnega medija.

Poseben izziv pri konstrukciji modela je doseči najboljše možno povezovanje komponent. Velikost in kakovost omrežja imata poseben vpliv na čas izračuna modela zaradi zelo velikega števila elementov. Fina mrežica bi bila zelo ugodna na območju kanala za slikanje majhnih polmerov. Zaradi zelo dolgih časov računanja modela (> 7 dni) je mogoče najti kompromis med natančnostjo križnega povezovanja (fino mreženje z majhnimi elementi) in hitrostjo računanja (grobo mreženje z velikimi elementi). Prostorninski elementi (ki bi lahko neposredno predstavljali debelino komponente) se trenutno ne uporabljajo zaradi dolgih izračunskih časov.

Za doseg realnega vedenja simulacije je izrednega pomena poznati natančne parametre procesa (zlasti na primer masni pretok skozi čas, čas polnjenja). Le z natančnim poznavanjem teh vrednosti je mogoče resnično vedenje komponent optimalno modelirati.

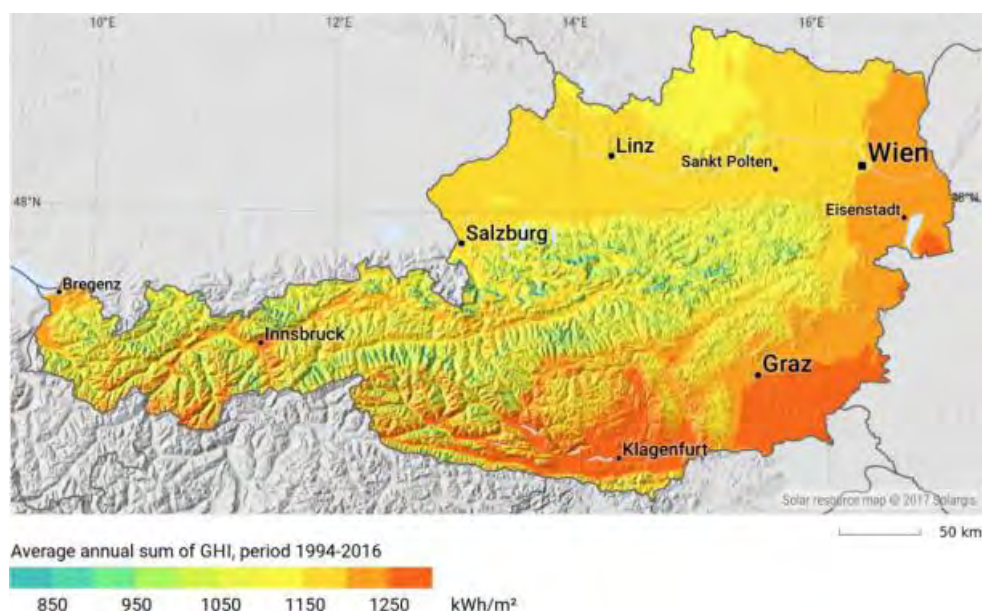
Za še boljšo optimizacijo simulacijskega modela bi bilo ugodno izvesti osnovne teste na manjših strukturah in na podlagi teh poskusov še izboljšati simulacijski model.

2.1.3 Integracija v obstoječe sisteme ogrevanja (Talum/Študija Uni Maribor)

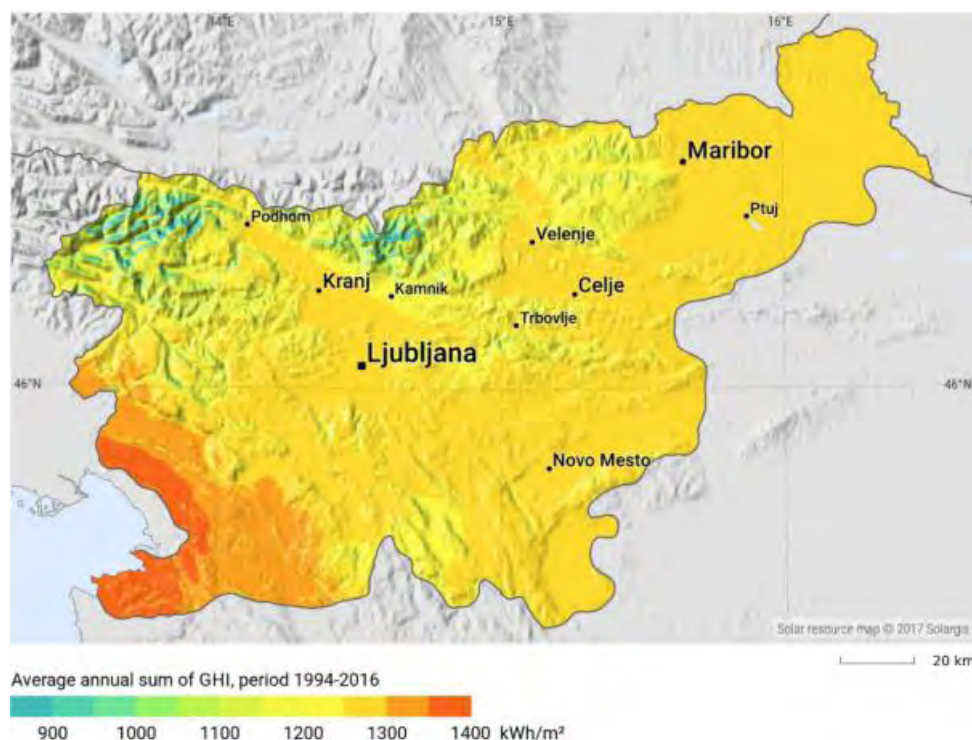
Namen vgradnje STAF panelov na stavbe je, da čim več prihranimo pri porabi že obstoječih primarnih energentov za ogrevanje prostorov in sanitarne vode in s tem prispevamo k manjšim izpustom toplogrednih plinov, stavbe se približajo nizkoogljičnim (energetsko varčnim) gradnjam, kar vpliva na izid pri pridobitvi energetske izkaznice ter na približanje ciljev EU, ki so vedno višji pri politiki pridobitve gradbenih dovoljenj za novogradnje. Pri vgradnji STAF panelov je potrebno poudariti, da ne posegamo bistveno v arhitekturo obstoječe gradnje, kar pomeni, da niso potrebni veliki gradbeni posegi pri renovaciji, saj panele namestimo na zunanjo stran stene (fasade), s čimer tudi izboljšamo toplotno izolacijo stavbe. Zelo pomembno je tudi, da za ogrevanje uporabimo obnovljivi vir energije, tj. energijo Sonca, ki je na območju Slovenije in Avstrije kar precej zanimiva in dokaj energetsko učinkovita za izkoriščanje.

STAF paneli so namenjeni za instalacijo na zunanji ovoj stavbe, kar ima svoje prednosti. Izkoriščenost sončnega obsevanja je seveda odvisna tudi od postavitve sončnih kolektorjev glede na smer neba in naklon le-teh (različna vrednost za različna območja na svetu). Slika 2-1 [1] prikazuje, koliko sončnega obsevanja v odstotkih lahko izkoristimo glede na naklon in smer neba v Evropi. Torej če imamo kolektor instaliran npr. na južni navpični steni stavbe izgubimo približno 30 % v primerjavi z optimalnim naklonom. Najpogosteje bi sončne kolektorje instalirali na strehe objektov, saj tam na njih pade največ sončnih žarkov zaradi vpadnega kota in zaradi najmanjšega vpliva okoliških objektov, ki bi lahko zasenčili kolektorje. Ravno zaradi tega, ker gre za »preveč ugodno« lego postavitve kolektorjev, lahko poleti pride do težav s pregrevanjem kolektorjev in posledično do precej manjšega izkoristka in uničevanja sestavnih delov panelov.

Glede na količino sončnega obsevanja v Sloveniji in Avstriji je smiselna vgradnja STAF panelov na fasade stavb. Na slikah 2-6 in 2-7 so prikazane povprečne letne vrednosti globalnega sončnega obsevanja (ki vsebuje tako sončno obsevanje na pravokotno horizontalno površino kot tudi difuzno horizontalno obsevanje) za Avstrijo in Slovenijo. Povprečno letno globalno sončno obsevanje za Avstrijo je 1.000 kWh/m².



Slika 49: Povprečno letno globalno sončno obsevanje – Avstrija



Slika 50: Povprečno letno globalno sončno obsevanje – Slovenija

Kar se tiče vrednosti sončnega obsevanja so najbolj zanimiva območja za izkoriščanje sončne energije na jugu in vzhodu Avstrije, čeprav so relativno visoke vrednosti sončnega obsevanja tudi na ravninskem delu severne Avstrije. Opazimo lahko tudi kar veliko mikrolokacij s precej visokimi vrednostmi sončnega obsevanja na območju Alp.

Slovenija ima bolj ugodno lego za izkoriščanje sončnega potenciala od Avstrije, saj leži južneje. Najbolj pa so najbolj primerna območja za izkoriščanje sončne energije na širšem Primorskem. Malo nižje vrednosti globalnega sončnega obsevanja so povsod drugod po Sloveniji, razen na območjih visokogorja in alpskih dolin. Povprečno letno globalno sončno obsevanje za Slovenijo je 1.200 kWh/m².

Statistični podatki za države EU kažejo, da je povprečna letna poraba energije za ogrevanje v stanovanjskem sektorju 168 kWh/m². Razlike v porabi energije so kar velike v odvisnosti od države EU. Obstajajo pa evropske smernice in direktive kot tudi nacionalni energetske programi posameznih držav o zmanjšanju porabe energije v vseh sektorjih, ki težijo k povečanju uporabe obnovljivih virov energije ter k postopnemu prehodu v nizkoogljično družbo. Kar se tiče stavb, je želja, da čim več stavb postane skoraj samozadostnih (kar pomeni, da same proizvedejo tolikšno količino energije, kot jo porabijo).

Potencialni uporabniki STAF panelov na območju Avstrije in Slovenije so vse stavbe, ki potrebujejo energijo za ogrevanje. Lahko gre za industrijske objekte, stanovanjske stavbe, poslovne stavbe, javne zgradbe, le pomembno je, da ležijo na območjih, kjer je dovolj sončnega obsevanja (Slika 49 in Slika 50).

Zaključimo lahko, da se poraba energije s pomočjo sončne energije za ogrevanje ne razlikuje veliko za Avstrijo in Slovenijo, kar pušča veliko prostora za spremembo deleža v korist obnovljivih virov, konkretno sončne energije in za razvoj tehnologij, kamor spadajo različne kombinacije sistemov ogrevanja, kjer STAF paneli lahko pripomorejo k proizvodnji toplotne energije iz sončne energije.

2.1.4 Simulacija na objektu

Po številčnih simulacijah toplotnega in fluidnega obnašanja različnih konfiguracij STAF panelov (glej poglavje 2.1.1) je bila zgrajena in izvedena simulacija zgradbe s programsko opremo IDA-ICE.

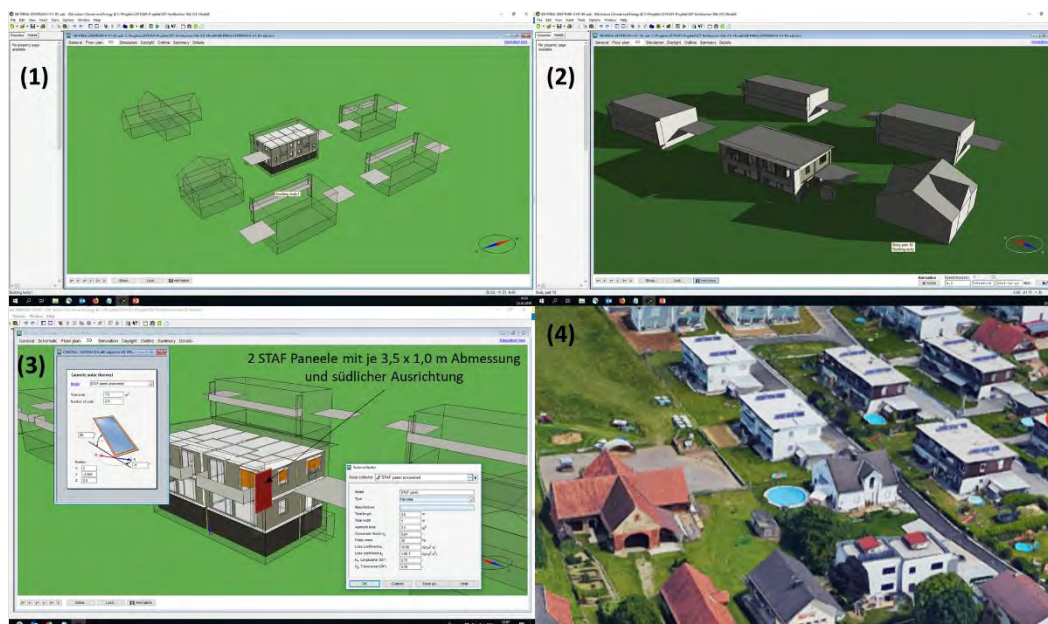
IDA-ICE je programska oprema za simulacijo zgradb za določanje porabe energije in notranjega podnebja ene ali več stavb ob upoštevanju letne klime. Na domači strani EQUA, razvijalca in distributerja programske opreme (<https://www.equa.se/de/ida-ice>), je programska oprema opisana tako: "IDA-ICE je inovativna in hkrati preverjena, podrobna, dinamična in večzonalna Simulacijska aplikacija za oceno podnebne klime in porabe energije celotnih stavb. Fizični modeli IDA-ICE so najsodobnejši in najboljše razpoložljive slike resničnosti. Dosegljivi rezultati izračuna prepričajo z visoko stopnjo ujemanja z izmerjenimi podatki. IDA-ICE, razvit za svetovni trg, zagotavlja tudi prilagoditve na lokalnih trgih. To vključuje prevod celotnega programskega vmesnika v številne jezike, pa tudi podnebne podatke, standardne razširitve, dostopnost, prilagojena poročila ter baze podatkov o izdelkih in materialih. "

V okviru projekta ABS-Network je bila polovica hiše dvojčka s približno 120 m² uporabnega bivanjskega prostora modelirana kot referenčni objekt, da bi določili energetske prednosti različnih konfiguracij STAF panelov. Na Slika 51 spodaj je prikazan 3D-model IDA-ICE 3D polovice hiše dvojčka z dvema 3,5 x 1,0 m STAF ploščama, integriranimi v fasado. Objekti, ki obdajajo objekt, ki je predmet preskusa, se vključujejo zaradi določitve senčenja, vendar v tem primeru tega ni bilo potrebno upoštevati, saj notranjih prostorov hiše nismo zonirali.

Odstranjen je bil prvotni solarni sistem na strehi hiše, v virtualno hišo pa so bile vključene različne konfiguracije modulov nepokritih in pokritih STAF panelov, ki so bile vključene tudi v simulacijo. En modul je opredeljen kot STAF panel velikosti 3,5 x 1,0 m. V variantnem izračunu so se spreminjali število modulov, položaj (orientacija) sistema, velikost zalogovnika za toplo vodo, nastavljene vrednosti za regulacijo temperature v sobi in tudi geografska lega same hiše, poleg tega pa so solarni toplotni sistem zamenjali s sistemi, ki so na voljo na trgu.

Vse variante in dobljeni rezultati so povzeti v Tabela 7. Glavni primerjalni dejavnik v tej analizi je sončna pokritost, delež potrebne energije v obliki vroče vode (vključno z ogrevanjem), ki bi jo lahko skozi sončni termalni sistem zagotavljali skozi leto. Večja kot je sončna pokritost, manj dodatne energije je potrebno iz fosilnih ali drugih virov energije.

Z različico, ki je najbolj delovala v analizi z nepokritimi STAF paneli na južni fasadi, je bila za lokacijo v Gradcu dosežena 14,1-odstotna sončna pokritost, v različici s steklenim pokrovom pa je bila dosežena vrednost 35,4%. Za primerjavo, na trgu dostopni kolektorji z enakovredno površino (ki ni enaka velikosti, ki so dejansko na voljo na trgu), so dosegli sončno pokritost med 41,6 in 52,7%.



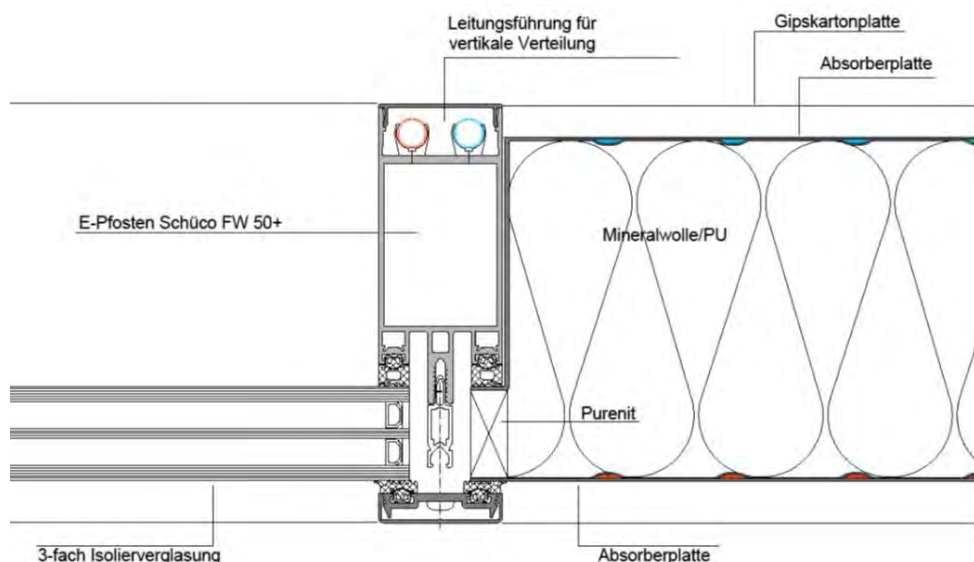
Slika 51: Posnetek zaslona (1) simulacijske površine IDA-ICE med modeliranjem, (2) med izračunom senčenja, (3) med opredelitvijo STAF panela, (4) dejanska lokacija iz "Google Maps".

Tabela 7: Vrednotenje in primerjava rezultatov simulacije zgradbe IDA-ICE.

Scenarij	Opis	Sončno sevanje / površina	Donos	Učinkovitost	Donos na površino	Potreba po energiji	Sončna pokritost	Potreba po energiji Ogrjevanje	Potreba po energiji Ogrevanje
		kWh/a	kWh/a	%	kWh/m ² /a	kWh/a	%	kWh/a	kWh/a/m ²
Površina kolektorja 10.5 m² = 3 STAF paneli, južna fasada, 1000l zalogovnik tople vode, lokacija Gradec									
KB-000	Brez solarne naprave	-	-	-	-	9693	0.0%	7004	56.9
KB-aad	STAF s steklom-streha-90°	11903	3647	30.6%	521	9875	36.9%	7186	58.4
KB-aae	STAF s steklom-streha -45°	15434	4307	27.9%	615	9875	43.6%	7186	58.4
KB-aaf	STAF s steklom-parking-45°	14848	4168	28.1%	595	9872	42.2%	7183	58.4
KB-aak	STAF s steklom.-južna fasada	11308	3499	30.9%	500	9876	35.4%	7187	58.4
KB-aal	STAF-južna fasada	11301	1226	10.9%	175	9872	12.4%	7183	58.4
KB-aam	STAF malo vetra-južna fasada	11297	1654	14.6%	236	9872	16.8%	7184	58.4
KB-aan	STAF s steklom.-vzhod.fasada	7762	1838	23.7%	263	9884	18.6%	7195	58.5
KB-aao	STAF s steklom-vzhod	7771	757	9.7%	108	9872	7.7%	7184	58.4
KB-aap	Savosolar Oyj SF500-15 SG-M-južna fasada	11987	5204	43.4%	743	9881	52.7%	7192	58.5
KB-aaq	Agna AZUR8-južna fasada	12100	4682	38.7%	669	9903	47.3%	7214	58.6
KB-aar	Geo-Tec ALU2000Q/US-južna fasada	11635	4114	35.4%	588	9899	41.6%	7210	58.6
Površina kolektorja 7.0 m² = 2 STAF Panela, južna fasada, 500l zalogovnik tople vode, lokacija Gradec									
KB-aas	STAF s steklom-T-Soll-23	7539	2758	36.6%	394	11604	23.8%	8743	71.1
KB-aat	STAF s steklom -T-Soll-21	7541	2664	35.3%	381	10016	26.6%	7155	58.2
Površina kolektorja 17.5 m² = 5 STAF panelov, južna fasada, 2000l zalogovnik tople vode, lokacija Gradec									
KB-aaU	STAF s steklom -T-Soll-23	18588	4640	25.0%	663	10136	45.8%	7447	60.5
KB-aaV	STAF-T-Soll-23	18550	1425	7.7%	204	10136	14.1%	7447	60.5
Površina kolektorja von 17.5 m² = 5 STAF panelov, južna fasada, 2000l zalogovnik tople vode, lokacija Gradec									
KB-aaW	STAF s steklom -T-Soll-23	18590	4754	25.6%	679	10146	46.9%	7457	60.6
Površina kolektorja 17.5 m² = 5 STAF panelov, južna fasada, 3000l zalogovnik tople vode, lokacija Gradec									
KB-aax	STAF s steklom -T-Soll-23	18586	4894	26.3%	699	10134	48.3%	7445	60.5
Površina kolektorja 17.5 m² = 5 STAF panelov, južna fasada, 1000l zalogovnik tople vode, lokacija Gradec									
KB-aay	STAF s steklom -T-Soll-23	18595	4443	23.9%	635	10139	43.8%	7450	60.6
KB-aaz	STAF-T-Soll-23	18551	1317	7.1%	188	10138	13.0%	7449	60.6
Površina kolektorja 17.5 m² = 5 STAF panelov, južna fasada, 500l zalogovnik tople vode, lokacija Gradec									
KB-aba	STAF-T-Soll-23	18540	1126	6.1%	161	10134	11.1%	7445	60.5
KB-abb	STAF s steklom -T-Soll-23	18570	3937	21.2%	562	10150	38.8%	7445	60.5
Površina kolektorja 17.5 m² = 5 STAF panelov, južna fasada, 1000l zalogovnik tople vode, lokacija Ljubljana									
KB-abc	STAF s steklom -T-Soll-23	15477	3657	23.6%	522	8651	42.3%	5962	48.5
KB-abd	STAF nepokrit-T-Soll-23	15459	1264	8.2%	181	8652	14.6%	5963	48.5
Površina kolektorja 17.5 m² = 5 STAF panelov, južna fasada, 1000l zalogovnik tople vode, lokacija Oslo									
KB-abe	STAF s steklom -T-Soll-23	16258	4260	26.2%	609	17111	24.9%	14421	117.2
KB-abf	STAF nepokrit-T-Soll-23	16221	939	5.8%	134	17121	5.5%	14432	117.3
Površina kolektorja 17.5 m² = 5 STAF panelov, južna fasada, 1000l zalogovnik tople vode, lokacija Ibiza									
KB-abg	STAF s steklom -T-Soll-23	18019	3298	18.3%	471	3173	103.9%	484	3.9
KB-abh	STAF nepokrit-T-Soll-23	18001	1387	7.7%	198	3173	43.7%	484	3.9
Površina kolektorja 17.5 m² = 5 STAF panelov, streha 45° južno, 1000l zalogovnik tople vode, lokacija Ibiza									
KB-abi	STAF nepokrit-T-Soll-23-3°	22002	1449	6.6%	207	3172	45.7%	483	3.9
KB-abj	STAF nepokrit-T-Soll-23-45°	19446	1469	7.6%	210	3173	46.3%	484	3.9

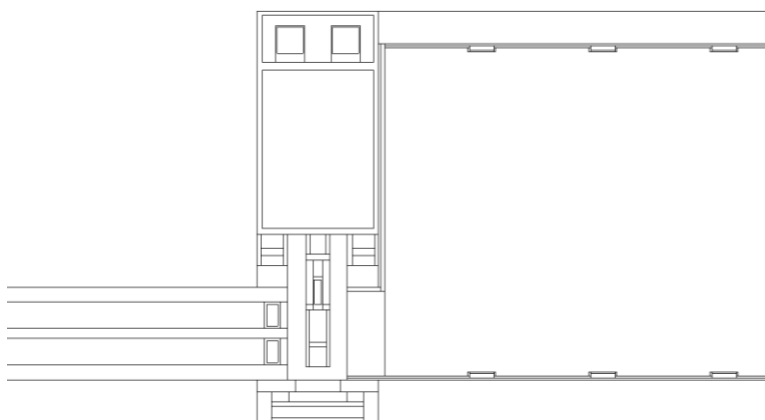
2.1.5 Higrotermalne lastnosti

Za določitev higrotermalnega vedenja v načinih uporabe, opisanih v poglavju 2.2 (predlogi za integracijo STAF panelov v fasade – gradbeni vidik), so bile izvedene simulacije z uporabo programske opreme "AnTherm". Kot primer je predstavljena podrobnost fasade s steklom in STAF panelom, ki je bil predstavljen kot demonstrator med 5. poslovnim srečanjem (Slika 52).



Slika 52: gradbeni detajl (horizontalni presek) fasade s stenami iz stekla in STAF paneli, kot podlaga za higrotermalno simulacijo z "AnTherm".

Da bi število elementov ostalo nizko in s tem ustvarili hitrejše čase izračuna, so bile podrobnosti prilagojene tako, da so krivulje izvirne komponente v simulacijskem modelu zamenjali pravokotniki (Slika 53).



Slika 53: Simulacijski model kot poenostavitev geometrije realnih komponent.

Materialni parametri (Tabela 7) so bili povzeti po ÖNORM B 8110-7 oz po posameznih podatkovnih listih, šrafurah in barvah po ÖNORM A 6240-2.

Tabela 8: Toplotna prevodnost λ uporabljenih gradbenih materialov

Material	λ
	W/mK
Aluminij	160,000
EPDM	0,250
Mavčna plošča	0,250
Steklo	1,000
Zrak	0,025
Polietilen	0,500
Polisobutilenkavčuk	0,200
Poliuretan	0,019

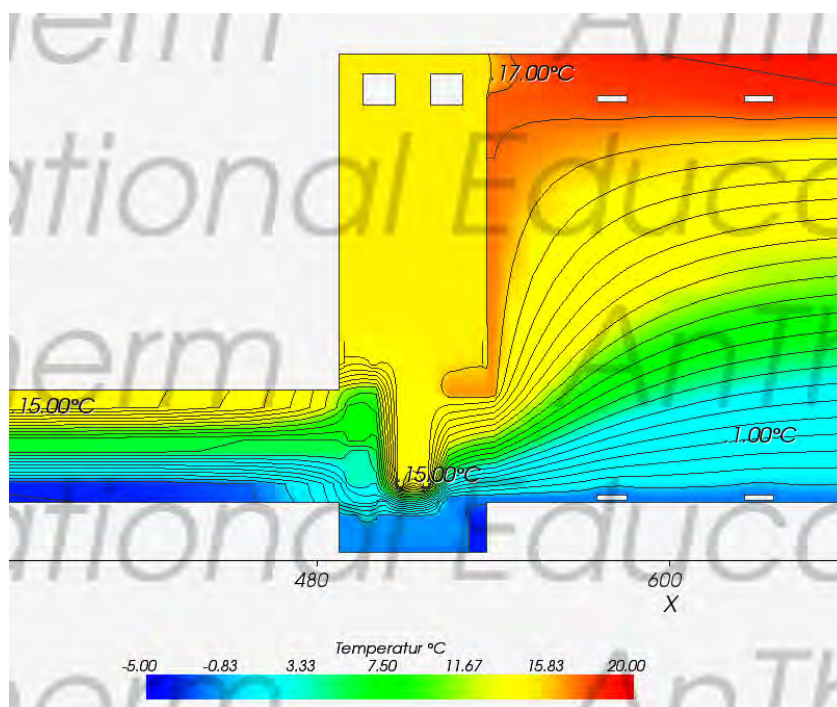
Purenit	0,083
Voda pri 40°C	0,630
Voda pri 10°C	0,600

Mejni pogoji za notranjo in zunanjo klimo so bili določeni za zimo (Varianta A) in poletno obratovanje (Varianta B). V zimskem obratovanju je bila simulirana tudi različica z odpovedjo pretoka skozi kanale na plošči (Varianta C). Za poletni primer smo izračunali variacijo upornosti prenosa toplote pretočnih kanalov (Varianta D). Odpornosti prehoda toplote so bile povzete ÖNORM EN ISO 6946 in ÖNORM EN 1264. V različici D je bil izračunan koeficient trenja cevi s premerom kanala tri milimetre, kar je povzročilo zanemarljivo odpornost prenosa toplote v kanalih. Tabela 9 prikazuje mejne pogoje in rezultate izračunanih minimalnih temperatur na notranji površini ter konstrukcijske faktorje f_{Rsi}^* na območju plošče.

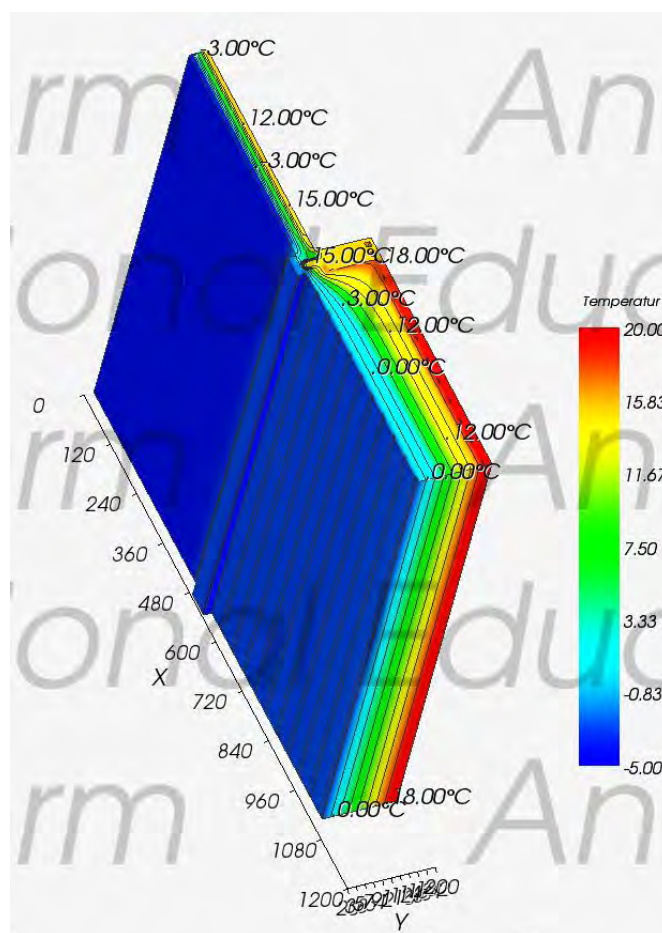
Tabela 9: Mejni pogoji in odpornost na prenos toplote

	Variante			
	A	B	C	D
Notranja temperatura zraka [°C]	20,0	25,0	20,0	25,0
Zunanja temperatura zraka [°C]	-5,0	30,0	-5,0	15,0
Odpornost na prenos toplote notranja površina [m²K/W]	0,13	0,13	0,13	0,13
Odpornost na prenos toplote zunanja površina [m²K/W]	0,04	0,04	0,04	0,04
Temperatura tekočine znotraj [°C]	20,0	15,0	-	15,0
Temperatura tekočine zunaj [°C]	11,4	50,0	-	50,0
Upor prenosa toplote notranji kanali [m²K/W]	0,13	0,13	-	0,0001
Upor prenosa toplote zunanji kanali [m²K/W]	0,13	0,13	-	0,0001
Izračunana minimalna temperatura notranje površine na območju panela [°C]	15,8	22,3	15,4	16,5
Izračunan faktor konstrukcijske temperatura na območju panela f_{Rsi}^* [-]	0,833	1,550	0,815	0,859

Za ponazoritev so rezultati simulacije prikazani z izotermami za zimsko obratovanje (Varianta A) na Slika 54 in Slika 55.



Slika 54: Izoterme variante A v AnTherm V.9.136.0, horizontalni prerez.



Slika 55: Izoterme variante A v AnTherm V.9.136.0, prečni prerez.

Povzetek in obeti:

Zaradi toplotne ločitve plošče med notranjo in zunanjo stranjo ne nastane kondenz ali plesen v zimskih razmerah delovanja in tudi ne, ko pretok skozi kanale ni. Vendar je treba biti pozimi pozoren pri hlajenju sten, saj temperatura dovoda in prevladujoča temperatura prostora pomembno vplivata na kondenzacijo površine. Pri tem se sklicujemo na ÖNORM EN 1264, odseki 1 do 5. Ker upori za prenos toplote – kot kažeta različici B in D – tudi močno vplivajo na površinske temperature, jih je treba potrditi z meritvami na realnih gradbenih elementih, da jih lahko uporabimo za nadaljnje izračune.

2.2 Predlogi za integracijo STAF panelov v fasade – gradbeni vidik (IHB)

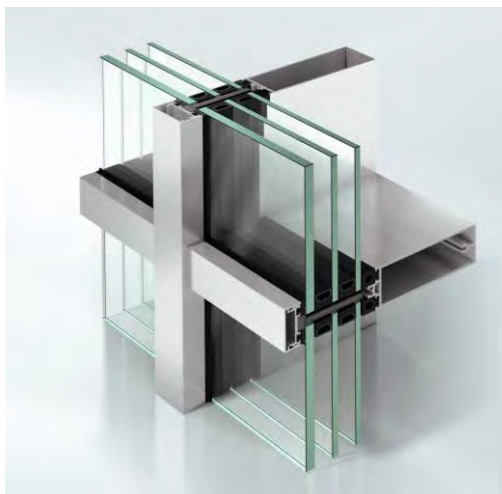
V okviru projekta je Inštitut za gradbeništvo razvil koncepte za vgradnjo STAF panelov v sodobne fasadne sisteme. Koncept temelji na premisleku, da je posamezni fasadni sistem dodeljen posebnemu namenu uporabe stavbe, da bi lahko opredelili konstrukcijo stavbe, stavbno fiziko in tehnične zahteve stavbe za fasado. Naslednjih pet različnih fasadnih sistemov (ali uporabe stavb) je bilo opredeljenih kot posebej primernih za uporabo STAF panelov in tudi natančneje pregledanih:

- Stebrna fasada (upravna poslopja)
- Elementne fasade (pisarniška poslopja)
- Fasade s sendvič paneli s steklom / brez stekla (Industrijska gradnja)
- Obešene fasade iz aluminijastih kaset (šole)
- Obešene fasade s ploščami (stanovanjska gradnja)

Za teh pet primerov uporabe so bile oblikovane risbe za določitev določenih podrobnih točk, kot je npr. ustvarjanje povezav za dovodne in povratne vodnike, spoje plošč in pritrdilne elemente.

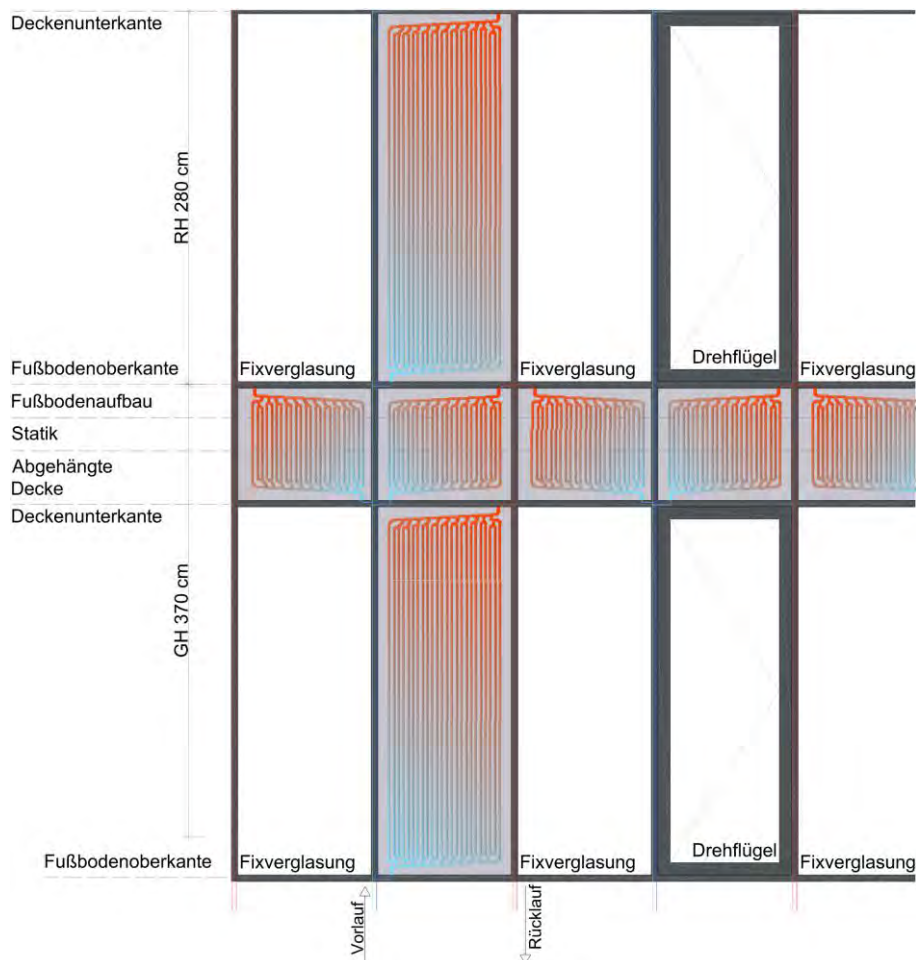
Stebrna fasada:

Za ta fasadni sistem so običajno značilni podporni navpični in vodoravni profili iz ekstrudiranega aluminija. Izdelajo se lahko tako posamezne odprtine kot celotne fasadne površine. S spremenljivimi dimenzijami profilov (širina in globina), ki jih ponujajo različni proizvajalci, se lahko fasadni sistem zelo dobro prilagodi posebnim razmeram vgradnje (Slika 56).



Slika 56: Stebrna fasada podjetja, trojno izolacijsko zastekljena. [24]

Slika 57 prikazuje možno integracijo STAF panelov kot neprozornih elementov znotraj stebrnega fasadnega sistema.



Slika 57: Fasadni sistem s STAF panelom in vrisanim potekom fluidnih kanalov.

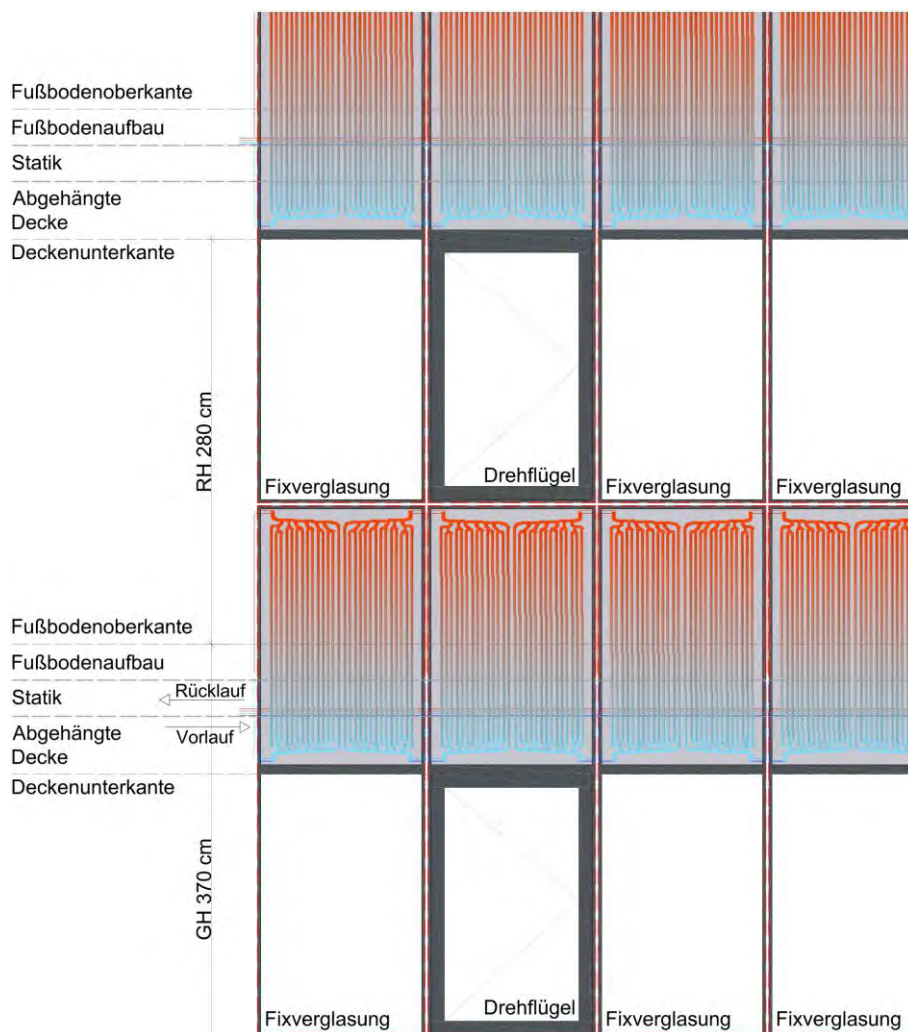
Elementna fasada

Gre za montažne, večinoma za nadstropje visoke elemente, ki jih na gradbišče dostavimo v enem kosu in uporabimo. V enem elementu se združujejo vsi sestavni deli fasade (neprozorni parapeti in nadstreški, fiksna zasteklitve in odpirajoča se krila, senčniki itd.) in tvorijo zaokroženo prostorsko celoto (Slika 58).



Slika 58: elementna fasada podjetja Schüco z dvojno izolacijsko zasteklitvijo. [25]

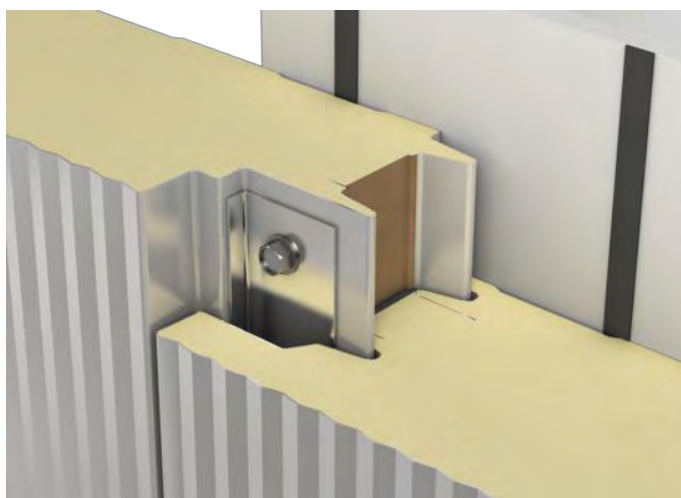
Slika 59 prikazuje možno integracijo STAF panela kot neprozornega elementa znotraj elementne fasade.



Slika 59: Elementna fasada s STAF paneli in vrisanimi poteki fluidnih kanalov, pregled.

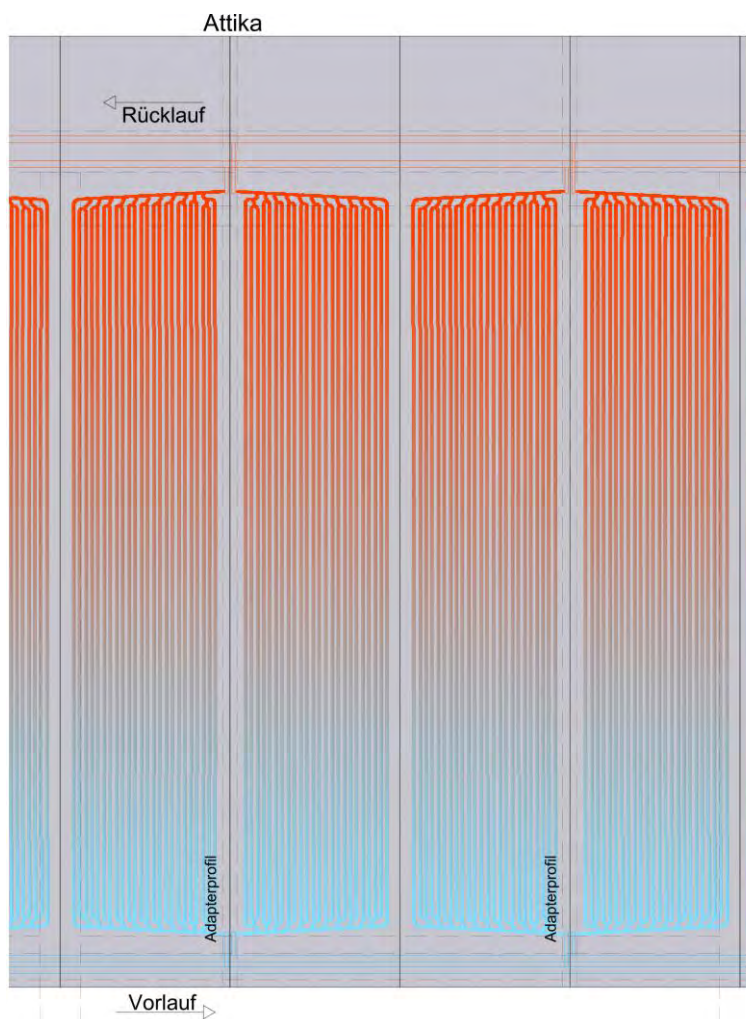
Fasade s sendvič paneli

Za opredelitev sendvič plošč se sklicujemo na poglavje **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..** Slika 60 prikazuje na primer zunanjo obliko fasade iz sendvič plošč s horizontalnim polaganjem elementov.



Slika 60: Elementni spoj dveh sendvič plošč z mikroprofilirano površino za navpično namestitvev. [26]

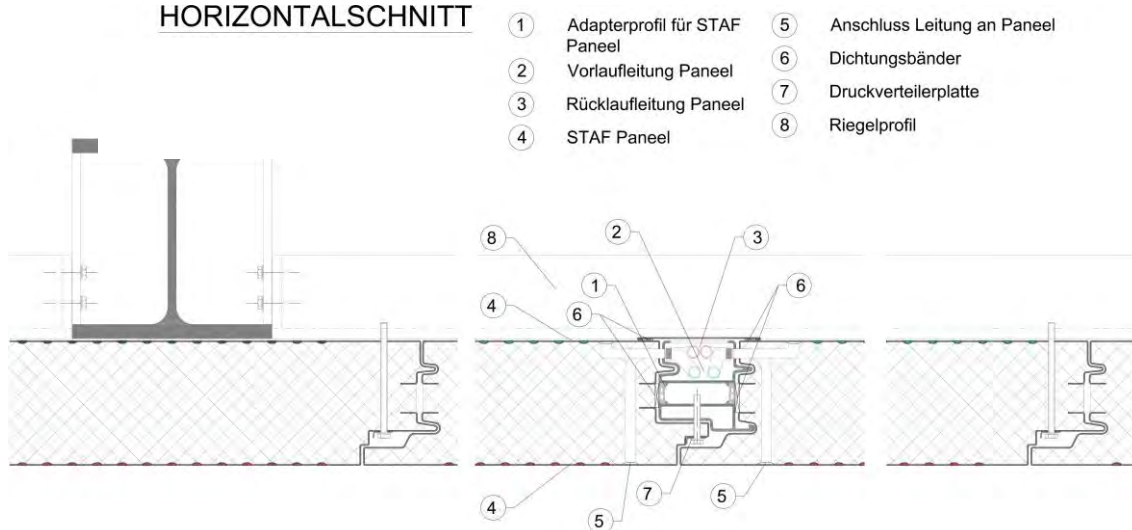
Slika 61 prikazuje uporabo STAF panelov za fasade v industrijski gradnji kot alternativo običajnim sendvič ploščam.



Slika 61: Fasada iz STAF plošč za navpično vgradnjo z označenimi kanali za tekočino, pogled.

Za dovode in povratno napeljavo do/od STAF panela je bil razvit poseben profil adapterja (Slika 62).

HORIZONTALSCHNITT



Slika 62: Profil adapterja za dovodne in povratne vode do/od STAF panela, prečni prerez.

Obešene fasade

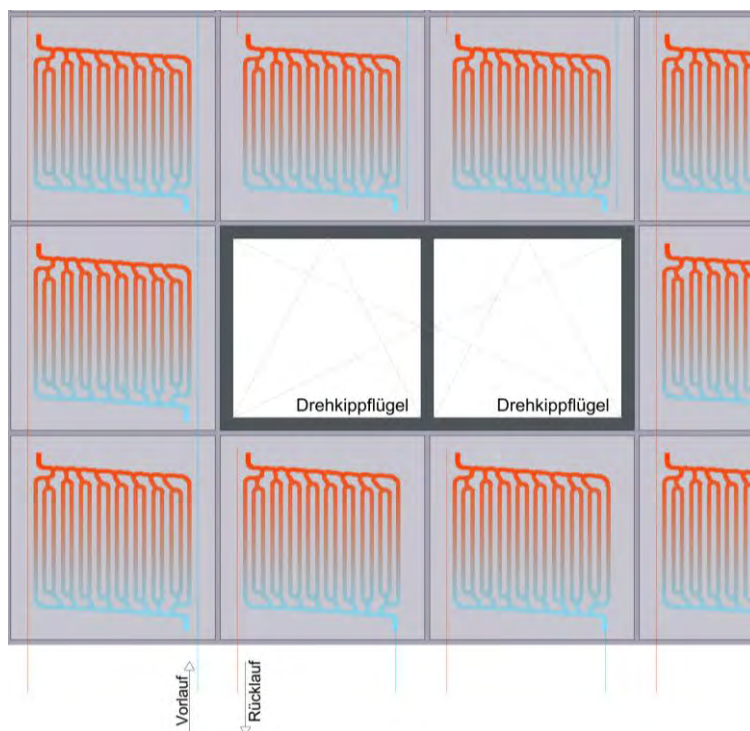
Tovrstno fasado sestavljajo (od zunaj navznoter) obloga, prezračevalna plast, toplotna izolacija in podkonstrukcija fasadne obloge, ki jo je potrebno pritrditi na statično nosilno površino. Z vidika gradbene fizike takšne fasade prednost, da se kondenzirana voda, ki skozi notranjo steno in skozi zidno konstrukcijo prodre v zunanost, in se prenaša v sloj prezračevanja in tako ne povzroča škode na konstrukciji. Poleg tega imajo zgradbe s takšno fasado poleti izboljšano zaščito pred poletnim pregrevanjem. Ker so prezračevane fasade dražje od klasičnih toplih fasad (na primer fasade ETICS), je njihova uporaba običajno omejena na prefinjene gradbene projekte.

Primer obešene, in prezračene fasade je kasetna fasada (Slika 63).



Slika 63: Kasetna fasada iz zloženih aluminijastih plošč. [27]

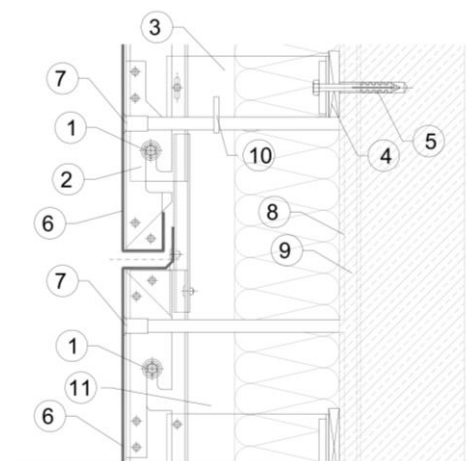
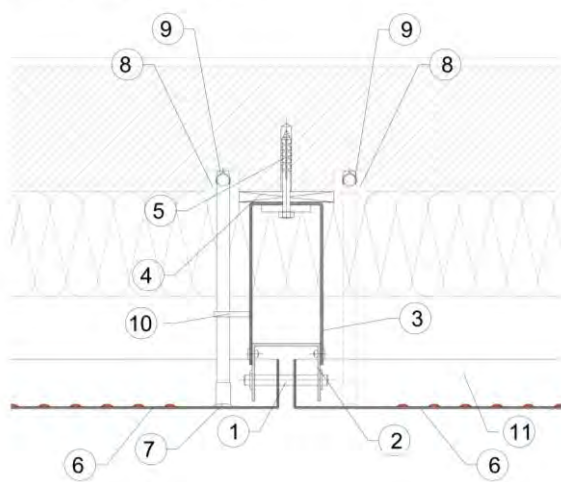
Slika 64 prikazuje uporabo STAF panelov kot kasetno fasado



Slika 64: Kasetna fasada iz STAF panelov z vrisanim potekom fluidnih kanalov.

Integracija STAF panelov je možna tudi v ta fasadni sistem. Ker fasadna obloga ne mora izpolnjevati nobenih toplotno-tehničnih zahtev, je v tem primeru uporabljena le (s fluidnimi kanali opremljena) pločevinasta absorpcijska plošča iz aluminija brez izolacijskega jedra, ki je statično ojačana (STAF absorber). Slika 65 prikazuje vodoravni in prečni prerez značilno konstrukcijo.

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1 Bolzeneinhang | 7 Anschluss Fluidkanal |
| 2 Tragprofil | 8 Wandschlitz zur Leitungsführung |
| 3 Wandkonsole | 9 Vor- / Rücklaufleitung Paneel |
| 4 Thermische Trennung | 10 Befestigungsschellen |
| 5 Befestigungsschraube | 11 Hinterlüftung |
| 6 Aluminiumkassette gekantet, als STAF Absorber | |



Slika 65: Vodoravni prerez (levo) in prečni prerez (desno) skozi prezračeno kasetno fasado iz STAF absorberjev.

2.3 Analiza življenjskega cikla (Talum/Studie Uni Maribor)

Življenjski cikel STAF panela se začne s pridobivanjem surovin, ki zajema tudi transport surovin [4]. V fazi proizvodnje STAF panela se surovine preoblikujejo najprej v pol izdelek in na to v izdelek. Končni izdelek se nato dobavi potrošniku. Faza proizvodnje STAF panela je sestavljena iz treh korakov: izdelava materialov, izdelava izdelka ter polnjenje, embalaža in distribucija. Faza uporabe STAF panela vključuje dejansko uporabo STAF panela pri potrošniku in vzdrževanje STAF panela. Ko STAF panel doseže potrošnika, so nadaljnje dejavnosti povezane z življenjsko dobo STAF panela vključene v fazo uporabe in vzdrževanja. Omenjena faza vključuje med drugim tudi generirano oziroma porabljeno energijo STAF panela in odpadke povezane z uporabo in vzdrževanjem STAF panela. Faza recikliranja in upravljanja z odpadki vključuje energetske zahteve za recikliranje in upravljanje z odpadki in odpadke, povezane z zavrženjem STAF panela. Vse faze življenjskega cikla pa spremlja okoljevarstveni faktor, ki ocenjuje obremenjevanje okolja.

Namen analize življenjskega cikla je podaja energetske ekološko oceno STAF panela od zibelke do groba. Energetska ocena se izraža v razmerju med energijo, ki se potrebuje za izdelavo in energijo, ki jo STAF panel generira v življenjskem ciklu. Vložena energija za izdelavo zajema vso energijo, ki se potrebuje za izdelavo STAF panela. To je energija za proizvodnjo aluminijeve zlitine iz Boksita, energija za proizvodnjo kamene volne iz kamenine Bazalta in Diabaza, energija za proizvodnjo STAF panela, energija za proizvodnjo potrošne opreme in energija za transport. V izračunu vložene energije za proizvodnjo aluminijeve zlitine upoštevamo, da uporabimo 40 % aluminijeve zlitine pridobljene z reciklažo. Pri oceni generirane energije STAF panela upoštevamo življenjsko dobo, lego, lokacijo in orientacijo STAF panela. Ekološka ocena pa se izraža v razmerju med faktorjem obremenjevanja okolja, ki nastane pri izdelavi STAF panela in faktorjem redukcije toplogrednega plina v obratovalni dobi STAF panela. Faktor redukcije toplogrednega plina se izraža v količini generirane energije STAF panela v obratovalni dobi v primerjavi generirane enake količine energije z izgorevanjem fosilnih goriv.

Analiza življenjskega cikla STAF panela obsega vhodno izhodne podatke in mejo sistema, slika 2-3. Vhodni podatki zajemajo podatke surovin, energije in nevarni odpadki, ki se uporabijo za proizvodnjo STAF panela. Izhodni podatki zajemajo podatke emisije v zrak, vodne odpadke, trdne odpadke, energijo, reciklirani material in ostali produkti. Podatki emisije v zrak zajemajo proizvedene oziroma reducirane toplogredne pline življenjskega cikla STAF panela. Vodni odpadki predstavljajo onesnaževanje vodnega gospodarstva in s tem povezanim obremenjevanjem okolja, ki nastanejo v življenjskem ciklu STAF panela. Trdni odpadki so odpadke, ki nastanejo v življenjskem ciklu STAF panela brez možnosti reciklaže. Energija na strani izhodnih podatkov predstavlja energijski življenjski cikel STAF panela in je razmerje med vloženo energijo, ki se potrebuje za proizvodnjo STAF panela in energijo, ki jo STAF panel generira v življenjskem ciklu. Recikliran material je material, ki se ga lahko ponovno predela oziroma na kakršen drug način uporabi in je bilo uporabljeno v življenjskem ciklu STAF panela. Ostali produkti pa so produkti, ki nastanejo v življenjskem ciklu STAF panela in jih nismo podrobneje opredelili. Mejo sistema analize življenjskega cikla STAF panela pa predstavlja pridobivanje surovin, izdelava, uporaba, vzdrževanje in recikliranje STAF panela.

2.4 Predlog uvedbe produkta na trg

Ob upoštevanju pozitivnega odnosa prebivalstva do podnebju prijaznih izdelkov in obnovljivih virov energije in stalne rasti gradbene industrije v programski regiji to pomeni pozitiven potencialni trg za panel STAF. Poleg tega programska regija s povprečnim letnim sončnim sevanjem 1.100 kWh/m² ponuja široko paleto aplikacij za STAF panele. [28]

Poleg točke zaščite podnebja ima panel še druge uporabnikom prijazne funkcije. Panel je lahko izdelana v različnih velikostih, barvah in geometrijah fluidnih kanalov ter je tako prilagodljiva željam stranke. Možno ga je uporabiti tudi kot pritrdilno lupino za opremljanje obstoječih zgradb z novo tehnologijo. Vendar je treba opozoriti, da bi morali namestitev hidravličnega sistema plošč v zgradbi izvajati samo usposobljeni strokovnjaki, saj lahko nepravilna namestitev poveča tveganje za pojav plesni in puščanja napeljave.

Čeprav so naložbeni stroški sprva višji kot pri trenutno dostopnih sendvič ploščah, lahko pridobljena sončna energija prihrani denar za ogrevanje in hlajenje prostorov ter proizvodnjo tople vode. Iz integriranih STAF panelov se lahko pridobi 43% potrebne energije za enodružinsko hišo.

Podrobna analiza vseh lastnosti STAF panela je bila narejena s SWOT analizo, prikazano v Tabela 10.

Tabela 10: SWOT-analiza STAF panela

Prednosti (S)	Slabosti (W)
Regulacija sobne klime brez velike porabe energije	Položaj oken je treba predhodno načrtovati
Možnosti personalizacije panela - Možne so različne velikosti panela - Zgornji sloj aluminija je lahko izdelan v barvnih odtenkih RAL - Izolacijske materiale lahko izbiramo glede na zahteve	Produkcijski proces še ni primeren za masovno proizvodnjo - Ni kontinuirane proizvodnje - Omejenost v dimenzijah absorberja
Možnost reciklaže (odvisno od izolacijskega materiala)	Obnova je naporna in draga
Uporaben ko strešna in stenska plošča	Popravila mora izvesti usposobljeno osebje, zlasti v primeru nevidno vijačenih plošč
Velik obseg možnosti uporabe - Proizvodne hale - Pisarniški objekti - Stanovanja - Posebne gradnje (kot npr. hladilnice, „Cleanrooms“)	Med namestitvijo je treba biti pozoren na tesnost kanalov in vijačnih povezav.
Pri gradnji velikih prostorov (dvoran) večje prilagoditve niso potrebne	Večja možnost pojava plesni
Ognjevarno (mineralna volna)	Višja cena kot standardni paneli
Primerno tudi kot zunanji stavbni ovoj	
Možno uporabiti na že obstoječih zgradbah kot zunanji stavbni ovoj	
Priložnosti (O)	Nevarnosti (T)
Subvencije za energijsko učinkovite zgradbe	Oklevanje kupcev zaradi visoke cene

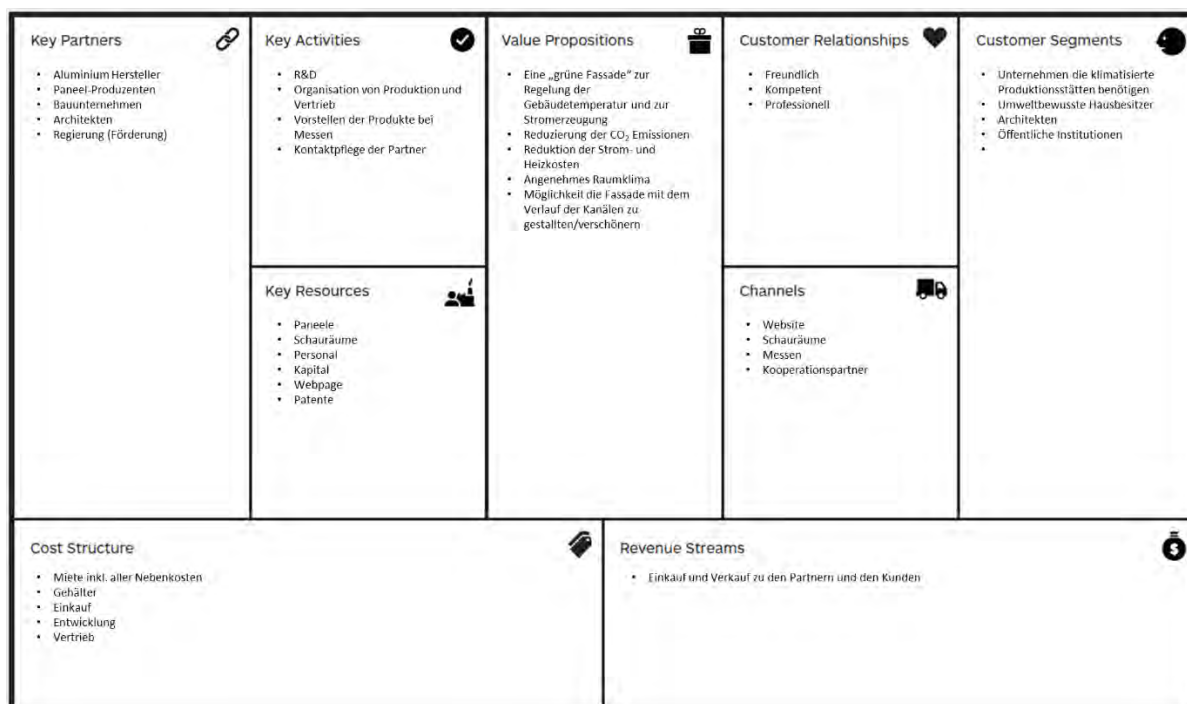
Neodvisnost od nihanj cen nafte	Nižanje cene lesa
Prepoved vgradnje novih ogrevalnih sistemov na kurilno olje	Ugodnejše alternative
Politični cilji	
Interes prebivalstva za obnovljive vire energije [13]	
Želja prebivalstva po oskrbi z zagotovljenimi viri energije [18]	
Topografska lega Avstrije in Slovenije => na razpolago je veliko ur sončne svetlobe [6]	

Če povzamemo, tudi če razvoj procesa proizvodnje še ni v celoti razvit, ima izdelek velik potencial. Izdelek ustreza trenutnim potrebam prebivalstva in se lahko vključi v stalno rastočo gradbeno panogo.

V okviru projekta ABS-Network je bil že narejen velik korak z ustanovitvijo mreže znanja in organizacije poslovnih srečanj. S temi dogodki je projektna skupina že v fazi razvoja lahko predstavila panel potencialnim končnim kupcem, partnerjem za sodelovanje in posrednikom.

Prodajna strategija STAF panela se bo prilagodila prodajnim strategijam proizvajalcev oken in vrat. Proizvodnja iz razvoj bosta potekala na istem mestu, STAF paneli se bodo kupcu prodajali preko posrednikov. Potencialni posredniki oz poslovni partnerji so inštalacijska podjetja, arhitekturna podjetja in gradbena podjetja, ki lahko s kupcem načrtujejo in realizirajo različne gradbene koncepte. Pri posrednikih bodo razstavni prostori na strateško postavljenih lokacijah z razstavnimi eksponati. V teh specializiranih centrih lahko končni kupci dejansko vidijo in ocenijo različne različice.

V teh razstavnih prostorih bo delalo posebej usposobljeno osebje. Prodajno osebje bo vključeno v posebno usposabljanje, tako da ne bodo znali svetovati zgolj končnemu uporabniku, temveč tudi gradbenikom in prodajnim posrednikom. Prikazane so vse vrste premazov, izolacije, kanalov in možnosti namestitve. Slika 66 prikazuje poslovni model STAF panela. V tej predstavitvi so predstavljeni vsi možni akterji, ki so potrebni za izdelavo in distribucijo plošče.

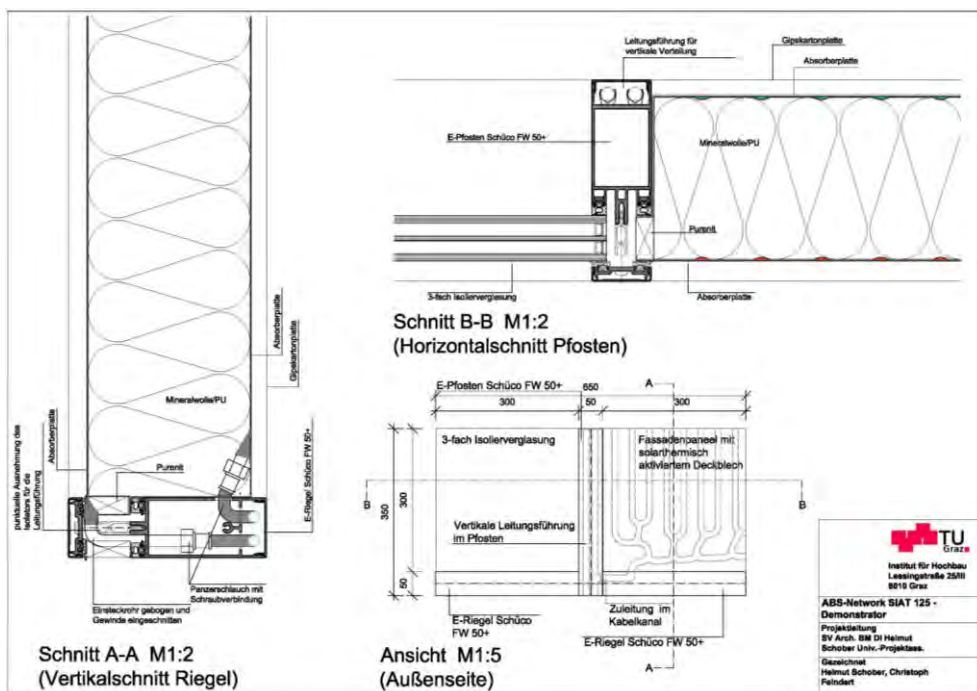


Slika 66: Canvas poslovni model za STAF panel

2.5 Zasnova in izdelava prototipa (IHB)

Za ponazoritev možne integracije STAF panelov v fasado se je projektna skupina odločila narediti prototip za pročelje s stebri, ki se običajno uporablja v sodobnih pisarniških in upravnih stavbah. Namen prototipa je bil dokazati praktično izvedljivost namestitve STAF panela kot sistema za energetske pretvorbo, vključno z vsemi dovodnimi in dovodnimi vodi v fasadnem sistemu, ki je že na trgu. Čeprav že obstajajo rešitve za takšne fasade, so neprozorni elementi, izdelani iz sendvič plošč, nameščeni namesto običajnih trojnih izolacijskih steklenih plošč, da se zmanjšajo imisijske površine, vendar te na splošno niso primerne za pridobivanje energije. Z nadgradnjo sendvič plošče s STAF panelom, se sončni žarki na fasadi pretvorijo v toplotno energijo z absorberji in se razpršijo skozi tekočino. To zmanjšuje prenos energije v notranjost stavbe, kar posledično preprečuje poletno pregrevanje in zmanjšuje potrebe po hlajenju.

Najprej je Inštitut za visoke gradnje izdelal idejno zasnovo za prototip – imenovan tudi demonstrator - (Slika 67). Na osnovi običajnega sistema aluminijastih profilov (FW 40+), katere izdelujejo v podjetju Schüco s širino stranice stebrov in palic 40 mm je bil zasnovan STAF panel z izolacijskim jedrom iz mineralne volne, ki ga namesto zasteklitve lahko pritrdite s tlačnim trakom profila. Tako fluidni kanali absorberja, kot tudi dovodni in povratni vodi v fluidne kanale, niso vidni. V ta namen je Talum d.d. izdelal absorpcijske plošče iz aluminija, enostransko napihnjene z bionske geometrijo fluidnih kanalov in posebnimi zunanjimi dimenzijami glede na naslednji rob plošč. Dovodni in povratni vodi za STAF panel so bili nameščeni na mestu profila sistema (tako imenovani E-stebrički), ki je opremljen s pokrovno revizijsko lupino, nevidno iz notranjosti.



Slika 67: Konstruktivna risba prototipa za stebno fasado z integriranim STAF panelom.

Takoj po dostavi absorberskih plošč s strani podjetja Talum d.d. so v podjetju Krobath Metallbau GmbH v Gradcu le-te spojili v kasete (Slika 68). Distančni bloki so izdelani iz Purenita.



Slika 68: Aluminijske kasete iz absorberskih plošč podjetja Talum d.d. (še vedno brez izolacijskega jedra).

Kasneje so bile aluminijaste kasete dostavljene podjetju Brucha Ges.m.b.H. v Michelhausen (Spodnja Avstrija), kjer so dodali še izolacijsko jedro iz mineralne volne. Nato so sendvič plošče (takrat še običajne) v delavnici Jungwirth v Gradcu dokončali z namestitvijo dovodnih in povratnih vodov v fluidne

kanale STAF panela. Montaža gotovih STAF panelov v sistem stebrne fasade podjetja Schüco je končno ponovno izvedla družba Krobath Metallbau GmbH. Na Slika 69 je prikazan končni prototip (demonstrator) STAF panela, integriran v Schücov fasadni sistem.



Slika 69: STAF panel kot neprozoren element v fasadnem sistemu podjetja Schüco (prototip)

3 Ustvarjanje mreže znanja

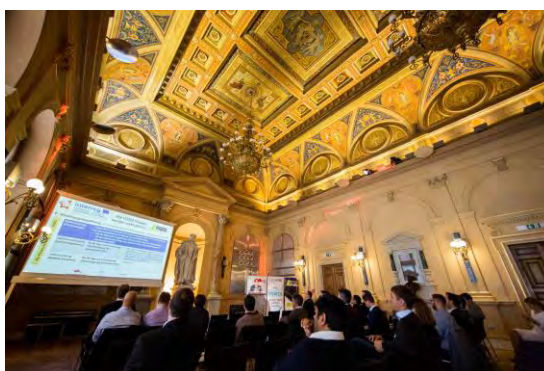
Eden od glavnih ciljev tega projekta je oblikovanje mreže znanja, ki v obliki skupne čezmejne platforme omogoča povezovanje raziskovalno-razvojnih institucij z industrijskimi podjetji, ki so zainteresirana za raziskave in razvoj STAF panelov. Glavni namen te platforme je zagotoviti nadaljnje izkoriščanje znanja, pridobljenega v okviru tega projekta, in s tem povečati inovacijski potencial drugih deležnikov v programski regiji. Mreža znanja ABS Network temelji na dveh osnovnih elementih, ki jih podpirajo tudi digitalni mediji:

3.1 Poslovna srečanja

V okviru projekta ABS Network je potekalo skupno – kot je bilo načrtovano - 5 poslovnih srečanj:



Slika 70: Poslovno srečanje 30.05.2018 – Maribor, Slovenija



Slika 71: Poslovno srečanje 02.10.2018 – Gradec, Avstrija



Slika 72: Poslovno srečanje 22.11.2018 – Laško, Slovenija



Slika 73: Poslovno srečanje 05.02.2019 – Gradec, Avstrija

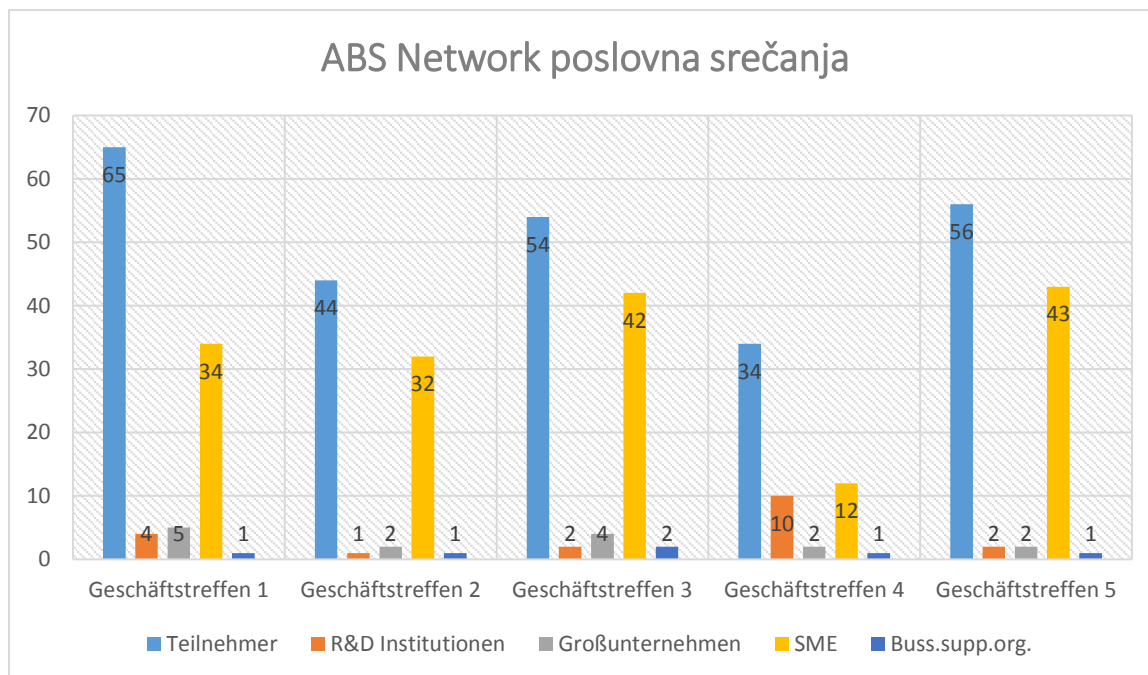


Slika 74: Poslovno srečanje 12.06.2019 – Maribor, Slovenija

Koncept poslovnih srečanj:

Vsa poslovna srečanja so temeljila na naslednjih glavnih temah:

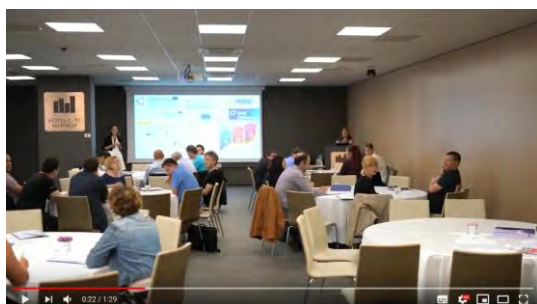
- ☒ predstavitev programa Interreg V-A Slovenija - Avstrija,
- ☒ predstavitev projekta ABS Network,
- ☒ predstavitev raziskovalnih in razvojnih dejavnosti projektnih partnerjev,
- ☒ Aktivno povezovanje in oblikovanje možnih skupnih projektov v prihodnosti.



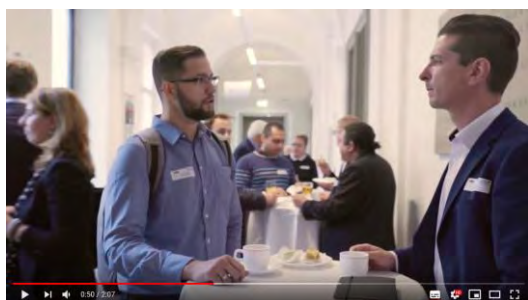
Slika 75: ABS Network poslovna srečanja

Poleg tega, čeprav to ni bilo načrtovano v okviru projekta, smo pripravili 2 promocijska videoposnetka, ki sta se izkazala za učinkovito marketinško orodje. Oba videoposnetka sta tudi podnaslovljena.

[Video 1](#) – Konzorcijski partnerji predstavijo projekt:



[Video 2](#) – Vtisi udeležencev:



3.2 Mreža znanja

Mreža znanja temelji na spletni strani projekta. Tam imajo vsi zainteresirani deležniki dostop do ustreznih informacij, predstavljenih med poslovnimi srečanji. Poleg tega je v tem delu spletnega mesta dostopni nekaj pomembnih dokumentov o projektu. V ta namen so tam objavljene tudi vsebine drugih avtorjev, ki posredno prispevajo k temi panela STAF in omogočajo učinkovitejši prenos znanja. Neposredni stik z vsemi relevantnimi deležniki kaže, da je zaželen neposreden stik s konzorcijskimi partnerji in za javne razprave ni veliko zanimanja. Zato je bil koncept mreže znanja, kot je bilo prvotno načrtovano, spremenjen tudi zaradi ohranjanja zanimanja za projekt in z njim povezana vprašanja.

4 Komunikacija (TikoPro und TU Graz)

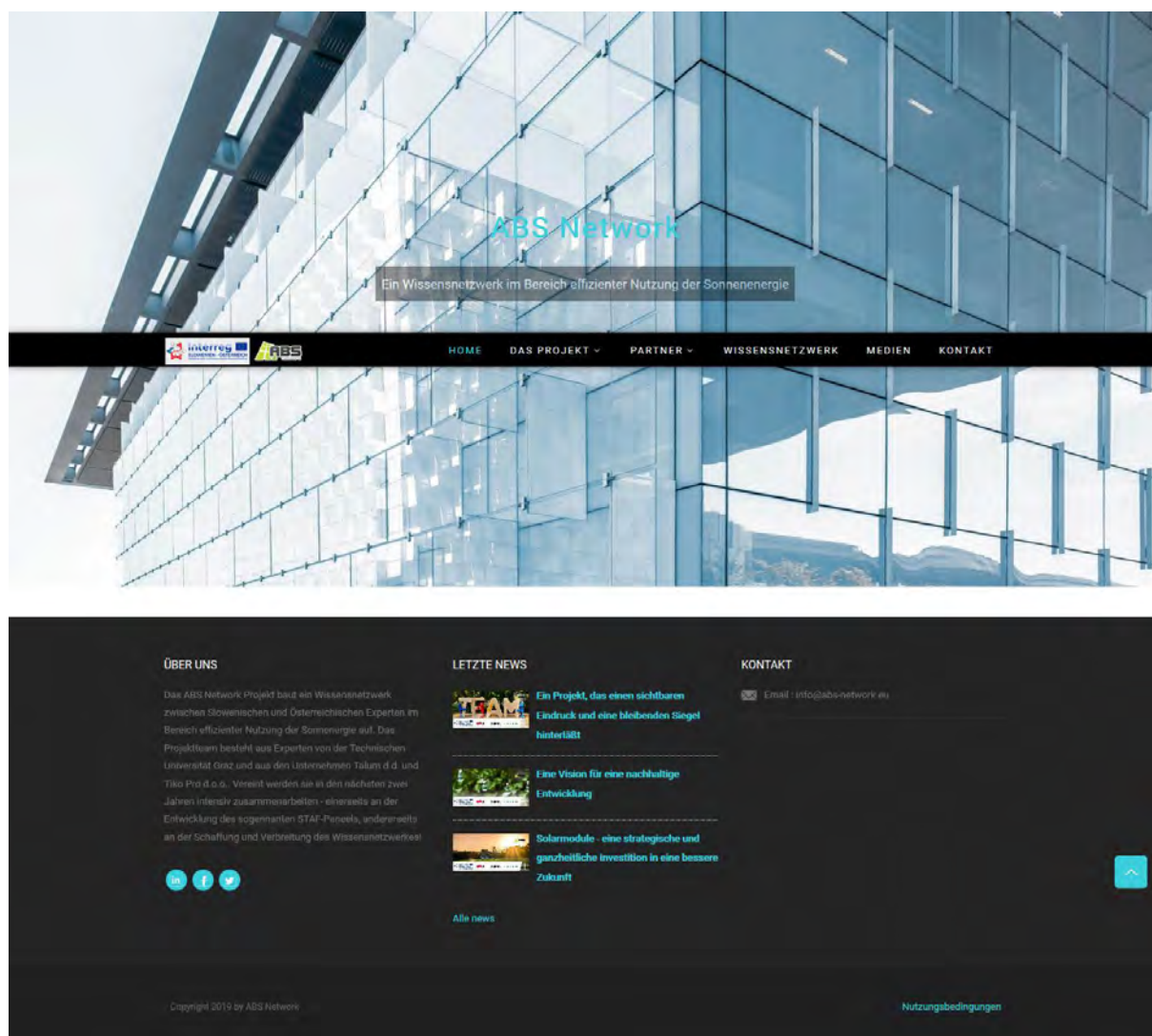
Vse komunikacijske aktivnosti v okviru projekta so sledile komunikacijskemu načrtu, ki ga je na začetku projekta razvil vodilni partner WP C Tiko Pro d.o.o. in so ga potrdili konzorcijski partnerji.

4.1 Družena omrežja in spletna stran (TikoPro)

Spletno mesto projekta je na voljo v 3 jezikovnih različicah: slovenski, nemški in angleški in je razdeljeno na naslednje kategorije:

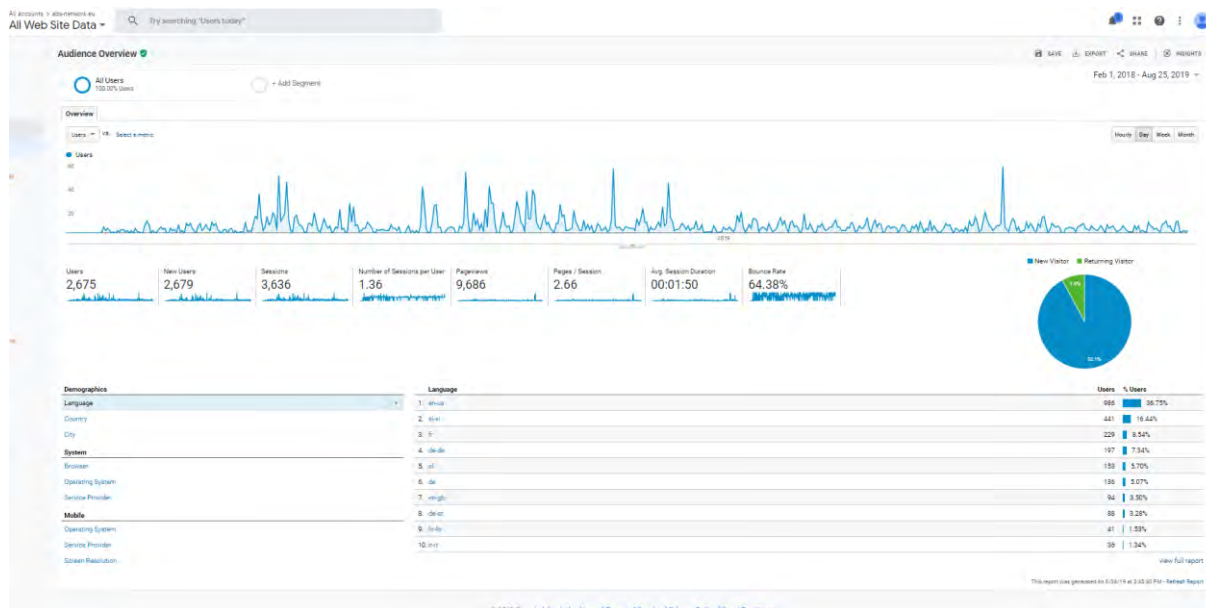
- ☒ Splošne informacije o projektu
- ☒ Predstavitev konzorcijskih partnerjev
- ☒ Mreža znanja
- ☒ Sporočila za medije
- ☒ Kontakt

Na domači strani so na voljo tudi najnovejše novice o projektu in arhiv novic:



Slika 76: ABS Network spletna stran

Statistike spletne strani:



Slika 77: Statistike spletne strani

4.2 Novinarske konference (TikoPro)

V okviru projekta - kot je bilo načrtovano - sta bili organizirani dve tiskovni konferenci:



Slika 78: Novinarska konferenca 1 – 11.10.2017 na TU Gradec:

Na prvi tiskovni konferenci so bili predstavljeni projekt in predvideni rezultati. Govorniki so bili (z leve): prof. Kautsch (TU Graz), prof. Sommitsch (TU Graz), DI Helmut Schober (TU Graz, ABS Network Team), dr. Stanislav Kores (Talum d.d.) in Mateja Kramberger (Tiko Pro). Novinarska konferenca je bila organizirana v sodelovanju z oddelkom za odnose z javnostmi Tehniške univerze v Gradcu. Pretežno prisotni so bili avstrijski novinarji, ki so temo predstavili regionalno. Članek o projektu, ki so ga sprejeli in objavili naslednji mediji: ORF (območni studii), Štajerska gospodarska zbornica, STA



Slika 79: Novinarska konferenca 2 – 12.06.2019 v okviru 5. Poslovnega srečanja:

Na drugi tiskovni konferenci so bili predstavljeni rezultati projekta in STAF panel. Govorniki so bili: Josef Domitner (TU Graz), dr. Janko Ferčec (Talum d.d.) in Mateja Sedlašek (Tiko Pro d.o.o.). Predstavniki lokalnih in regionalnih medijev so bili prisotni pred novinarji in so objavljali članke o projektu in o prototipu STAF panelu v/na: Radio Maribor - euranet (30-minutno poročilo!), Radio Si, Poročilo MB, STA, Radio Studio Madžarski programi

4.3 Splošni članki o projektu (TikoPro)

Splošni članki o projektu so bili objavljeni v več revijah:



**Zaključek projekta
ABS Network**

JANKO FERČEC
FOTO: ARHIV ABS NETWORK

Projekt ABS Network z naslovom **Aluminijasti ovoj stavb - mreža energijsko aktiviranih fasad (Aluminium Building Skins - Energy Active Facades Network)** se je konec julija uradno zaključil.

O PROJEKTU
Sofinanciranje: program za spodbujanje (ez-majnega) sodelovanja med Slovenijo in Avstrijo (2014-2020).
Trajanje: 1. 5. 2017 - 31. 7. 2019
Partnerji: Tehniška Univerza v Gradcu (vodilni partner projekta) ter podjetji Talum in Tiko Pro
Namena: razvoj solarno-termično aktiviranega fasadnega panela ter ustvarjanje in širjenje mreže znanj
Vrednost projekta: približno 800.000 evrov (naš delež je znašal približno 200.000 evrov, od tega je bilo sofinanciranih 85 odstotkov zneska)

Časopis **ALUMINIJ** 5/6/2019 19



Foto 1: Stavba z nameščenimi sončnimi fasadnimi paneli



Foto 2: Demonstracijski STAF panel s konstrukcijsko rešitvijo za vgradnjo panelov na stavbo



Foto 3: STAF paneli, ki smo jih namestili na tenzijo korektir za oviranje meritev učinkovitosti

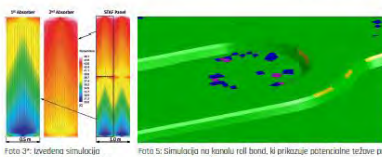


Foto 3*: Izvedena simulacija temperaturne razporeditve na zgradbo površini STAF panela

Foto 5*: Simulacija na kanalu roll bond, ki prikazuje potencialne točke pri preoblikovanju materiala

(vir foto 3*: Avnar, J. Brandt, G. Scheber, H. Nowak, U. Fentke, J. 2019, Thermal analysis and application of roll bond solar absorbers for heating and cooling in residential buildings, Journal of Energy Technology, vol. 12, no. 1, pp. 19-27)

Inštitut za preoblikovanje in orodjarstvo (Avstrija)

- meritev mehanskih in preoblikovalnih lastnosti pločevine, iz katere se izdelujejo toplotni prenosniki
- izvedba simulacije naplavljanja kanalov s tehnologijo roll bond s tem postopkom je mogoče določiti mesta, na katerih bi v postopku preoblikovanja v pločevini lahko nastale razpoke, kot je to v primeru naplavljanja kanalov (foto 5)

Podjetje Tiko Pro (Slovenija)

- skrb za diseminacijo projekta in mrežo znanj

Podjetje Brucha (Avstrija) - zunanji partner

- spojitve dveh toplotnih prenosnikov roll bond z izolatorji iz mineralne volne in polikarbonatske trde pene (foto 2)

Fakulteta za energetiko Maribor (Slovenija) - zunanji partner

- analiza uporabe STAF panelov oziroma sistemskih rešitev za ogrevanje ali hlajenje stavb
- izračun življenjskega cikle STAF panela

Zavod za gradbeništvo (Slovenija) - zunanji partner

- pregled veljavnih zahtev za načrtovanje in montažo STAF panelov v Sloveniji

Na zunanjih toplotnih prenosnikih STAF panela smo pridobivali sončno energijo in jo s pomočjo toplotne črpalke uporabljali za ogrevanje notranjih prostorov s toplotnimi prenosniki na notranji strani. Na ta način smo izboljšali in učinkovitost toplotnih prenosnikov v različnih vremenskih razmerah.

Projektne partnerji verjamemo, da bodo STAF paneli pridelali marsikatero arhitekta, da jih v prihodnosti vplete v arhitekturne rešitve. Za vse nas je bilo to odlična izkušnja in možnost za pridobivanje novih znanj. Zahvaljujemo se vsem sodelavcem, ki sta pripomogla k uspešni realizaciji projekta.

SLAVARČEK
TUJK
diseminacija je proces izdelave rezultatov in izsledkov o projektu, ki so na voljo zainteresiranim stranem.

Slika 80: Revija „Aluminij“ 5-6/2019

Tako sta slovenski podjetji z avstrijskim partnerjem za inovativno idejo dobili evropski denar

Čas branja: 2 min

21.08.2018 17:00

Tehniška univerza v Gradcu, Talam in Tiko Pro bodo za projekt razvoja STAF-panela dobili skoraj 700 tisoč evrov subvencije

ANJA ZALETEL



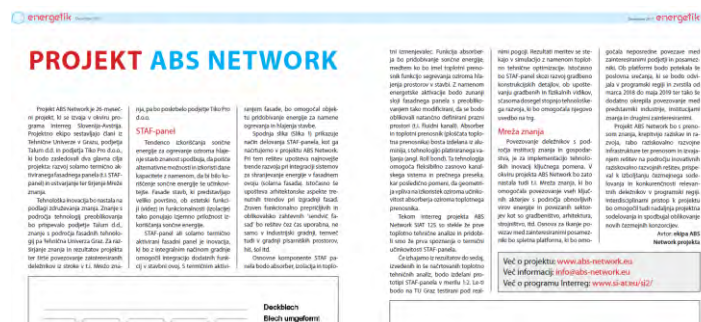
Slika 81: Časnik „Finance“ z dne 21.8.2018



Slika 82: revija „MontelEnergetika.net“ z dne 25.6.2018



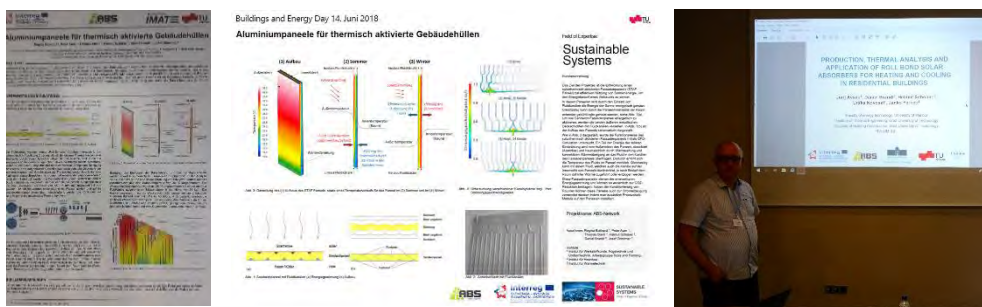
Slika 83: revija „Steirische Wirtschaft“, september 2018



Slika 84: Revija „Energetik“ december 2017

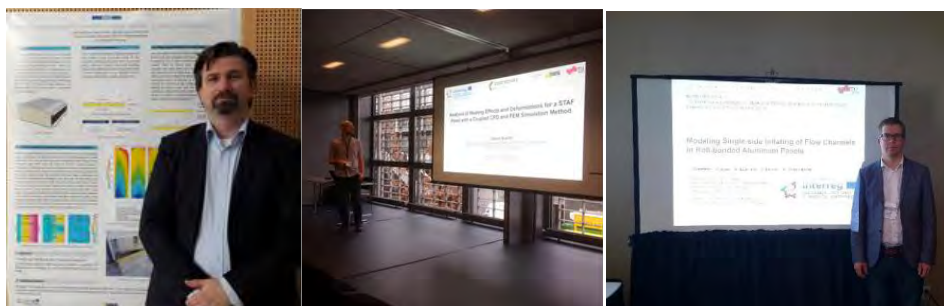
4.4 Predstavitev projekta na strokovnih konferencah

V času trajanja projekta je projektna skupina ABS Network predstavila projekt na 6 konferencah / zborovanjih. Prve konference so potekale junija 2018. Prvi prispevek je bil predstavljen na 10. »Ranshofner Leichtmetalltage« od 13. do 14. junija 2018. Skoraj ob istem času, 14.06.2018, je na TU Graz potekal »Dan stavb in energije«, kjer je projektni plakat udeležence seznanil s projektom. Profesor Jurij Avsec je na 7. simpoziju o uporabni elektromagnetiki Univerze v Mariboru predstavil študijo ekipe projekta ABS Network. Prispevki za konferenco so prikazani na Slika 85.



Slika 85: Prispevki na konferenci, junij 2018

Jeseni 2018 se je projektna skupina udeležila še dveh konferenc. Prva je potekala od 3.-5. Oktobra 2018 v Gradcu. Na mednarodni konferenci o trajnostni energiji je plakat o vmesnih rezultatih projekta predstavil Dipl.-Ing. Helmut Schober. Naslednja konferenca, kjer je udeležencem predstavil STAF panel, je bila FACADE 2018. Ta konferenca je potekala od 26. do 27. novembra 2018 v Luzernu. Dr. Daniel Brandl je predaval na FACADE 2018. Fotografije govorcev na konferencah so povzete na Slika 86.



Slika 86: Konferenčni prispevki jeseni 2018 in NUMIFORM 2019

Zadnja konferenca, na kateri je v okviru trajanja projekta sodelovala projektna skupina ABS Network, je bila NUMIFORM 2019. Ta konferenca je potekala od 23. do 27. junija 2019 v Portsmouthu v New Hampshireu. Na tej konferenci je g. Peter Auer udeležencem predstavil projekt. Fotografija gospoda Auerja na konferenci je prikazana na Slika 86.

4.5 Znanstveni članki

Tekom trajanja projekta je bilo zasnovanih pet znanstvenih člankov o projektu ABS Network. Dva članka sta bila objavljena v znanstvenih revijah, drugi pa kot poročila s konferenc. Še en prispevek bo objavljen novembra 2019. Podroben seznam publikacij je prikaza v Tabela 11.

Tabela 11: Seznam znanstvenih publikacij projekta ABS-Network

Naslov	Datum objave	Objavljeno v
Production, thermal analysis and application of roll bond solar absorbers for heating and cooling in residential buildings	07.06.2018	Conference Proceedings of the 7 th international symposium on applied electromagnetics
Analysis of Heating Effects and Deformations for a STAF Panel with a Coupled CFD and FEM Simulation Method	26.11.2018	Journal of Façade Design & Engineering
Thermal analysis and application of roll bond solar absorbers for heating and cooling in residential buildings	01.04.2019	Journal of Energy Technology
Modeling single-side inflating of flow channels in roll-bonded aluminum panels	23.06.2019	Conference Proceedings of the NUMIFORM 2019
LC-Analysis of STAF Panels and their Application for Heating, Cooling and Hydrogen Production	04.11.2019	Conference Proceeding of the ISES 2019

Kazalo slik

Slika 1: Standardna sendvič plošča proizvajalca Brucha GmbH, sestavljena iz dveh mikropofiliranih jeklenih pokrovnih plošč in izolacijskega jedra iz poliuretanske pene.	3
Slika 2: Sončno termično aktiviran sendvič panel s fluidnimi kanali za pridobivanje energije na njegovi zunanji strani in kondicioniranje notranjih prostorov na njegovi notranjosti.....	4
Slika 3: Prerez sončno-toplotno aktivirane sendvič plošče (štirje listi) - ena ploščata in ena oblikovana pokrovnna plošča tvorita fluidne kanale	4
Slika 4: Oblikovanje z platiniranim valjanjem: absorber podjetja Savosolar (Finska) s strukturo kanalov FracTherm iz Fraunhoferjevega inštituta za sončne energijske sisteme ISE. [1]	5
Slika 5: Sončna termično aktivirana sendvič plošča z meandrasto obliko fluidnih kanalov (upodobitev).	5
Slika 6: Pretvorba konstrukcijske kontejnerja - odprtine na vzdolžni steni posode	8
Slika 7: Izvleček iz načrta oddaje za preizkusni zabojnik	9
Slika 8: Pritrditev plošč STAF na notranjo stran preskusnega kontejnerja s pomočjo zloženih jeklenih pločevin. Ogledate si lahko tudi še nezapečateni, večstranski gradbeni spoj.	9
Slika 9: Zunanji pogled preskusnega kontejnerja s 5 vgrajenimi STAF paneli (testni vzorci), vsak prevlečen z difuzijsko odprto folijo (črna). Številke označujejo položaj namestitve.	10
Slika 10: Geometrije fluidnih kanalov (od leve proti desni): satje na položaju (1) in (2), harfa s 14 kanali na položaju (3), harfa s 14 kanali in stopničasto, vodoravno porazdelitvijo tekočine na položaju (4), bionika na položaju (5).	10
Slika 11: Fotografija eksperimentalnega kontejnerja na Tehniški univerzi v Gradcu, diagram vgrajenih različic STAF panelov in fotografija notranjosti kontejnerja s hidravličnim priključkom plošč za ponovno hlajenje ali ogrevanje.	11
Slika 12: Predstavitev hidravlične in merilne sheme za preskusni kontejner.	11
Slika 13: Primerjava porazdelitve temperature med štirimi različicami STAF panela, posneta s termografsko kamero.....	12
Slika 14: Vrednotenje izmerjenih izhodnih temperatur tekočine, volumskega pretoka, temperature v kontejnerju, zunanje temperature in temperature površine na referenčni plošči od 01.-21.05.2019.	12
Slika 15: Vrednotenje izmerjene toplotne moči in globalnega sevanja v obdobju 01.-21.05.2019.....	13
Slika 16: Primerjava izmerjenih izhodnih temperatur tekočine med štirimi različicami STAF panela, vgrajenih v testni kontejner v obdobju 02.-04.05.2019.....	13
Slika 17: Primerjava izmerjenih izhodnih temperatur tekočine med štirimi različicami STAF panela, vgrajenih v testni kontejner v obdobju 02.-04.05.2019.....	14
Slika 18: Ponazoritev CFD plošče izračuna absorberjev, kot se uporablja na STAF panelih.....	15
Slika 19: Prikaz temperaturnih kontur iz CFD analize vpliva preseka in razmika kanalov na izstopno temperaturo tekočine.	15
Slika 20: Primerjava temperaturnih kontur na zunanji plošči STAF panela 1,75 x 0,5 m z različnimi preseki in razdaljami kanalov tekočine.	17
Slika 21: Primerjava temperaturnih kontur na absorberju zunaj z različnimi izvedbami kanalov tekočine.	18
Slika 22: Primerjava kontur pritiska vode na notranji površini cevi.	19
Slika 23: Temperaturni obrisi iz simulirane osnovne variante STAF plošče velikosti 3,5 x 1,0 m s 14-kanalnim vodnikom tekočega kanala za harfo.	20
Slika 24: Primerjava temperaturnih kontur absorberja med pokritimi in nepokritimi STAF paneli v poletnih razmerah.	22

Slika 25: Primerjava temperaturnih kontur absorberja med pokritimi in nepokritimi STAF paneli v zimskih razmerah.	22
Slika 26: Primerjava značilnosti kolektorja STAF panela z značilnimi krivuljami za kolektorje, ki so na voljo na trgu.	23
Slika 27: Proces platiniranega valjanja – sitotisk, ogrevanje, vroče valjanje, hlajenje in obrezovanje .	24
Slika 28: platinirano valjan aluminijast absorber, in detajlni pogled prereza kanala.....	25
Slika 29: PamStamp simulacija „majhnih“ struktur.....	25
Slika 30: Simulacijski model - napihovanje hladilnih kanalov plošč, izdelanih s platiniranim valjanjem, LsPrePost/LsDyna GUI	26
Slika 31: Geometrija kanala v prerezu.....	27
Slika 32: geometrija simuliranega absorberja, predstavitev omrežja	27
Slika 33: Natezni testi za EN AW-1050 in AA-1250.....	28
Slika 34: Materialni podatki za EN AW-1050 in AA-1250	28
Slika 35: CPM - corpuscular particle method	29
Slika 36: Stalni masni pretok / čas za napihovanje hladilnih kanalov v 2 različnih simulacijskih različicah	29
Slika 37: Parametri procesa in parametri materiala "suh zrak" za 2 različni simulacijski različici	30
Slika 38: Rezultat simulacije - učinkovit notranji tlak.....	30
Slika 39: Rezultat simulacije - skupni volumen napihnjenega kanala	30
Slika 40: Napihovanje kanala s plinastim aktivnim medijem - začetek animacije.....	31
Slika 41: Napihovanje kanala s plinastim aktivnim medijem – sredina animacije	31
Slika 42: Napihovanje kanala s plinastim aktivnim medijem – konec animacije	31
Slika 43: Primerjava notranje konture kanala iz simulacije s pravim presekom	32
Slika 44: Primerjava notranje konture kanala iz simulacije (primera različici 1 in 2) s pravim presekom	32
Slika 45: Določena krivulja mejne deformacije za material EN AW-1050	33
Slika 46: primerjalni rezultati simulacije št. 1 zgornja plošča s FLC EN AW-1050 – gradbeni element. 33	
Slika 47: primerjalni rezultati simulacije št. 2 zgornja plošča s FLC EN AW-1050 – napaka v obliki razpoke	33
Slika 48: Rezultat simulacije debelina komponente („Shell Thickness“).....	34
Slika 49: Povprečno letno globalno sončno obsevanje – Avstrija	35
Slika 50: Povprečno letno globalno sončno obsevanje – Slovenija.....	36
Slika 51: Posnetek zaslona (1) simulacijske površine IDA-ICE med modeliranjem, (2) med izračunom senčenja, (3) med opredelitvijo STAF panela, (4) dejanska lokacija iz "Google Maps".	38
Slika 52: gradbeni detajl (horizontalni presek) fasade s stenami iz stekla in STAF paneli, kot podlaga za higrotermalno simulacijo z "AnTherm".	39
Slika 53: Simulacijski model kot poenostavitev geometrije realnih komponent.	39
Slika 54: Izoterme variante A v AnTherm V.9.136.0, horizontalni prerez.	41
Slika 55: Izoterme variante A v AnTherm V.9.136.0, prečni prerez.	41
Slika 56: Stebrna fasada podjetja, trojno izolacijsko zastekljena. [24].....	42
Slika 57: Fasadni sistem s STAF panelom in vrisanim potekom fluidnih kanalov.....	43
Slika 58: elementna fasada podjetja Schüco z dvojno izolacijsko zasteklitvijo. [25].....	43
Slika 59: Elementna fasada s STAF paneli in vrisanimi poteki fluidnih kanalov, pregled.	44
Slika 60: Elementni spoj dveh sendvič plošč z mikroprofilirano površino za navpično namestitvev. [26]	44
Slika 61: Fasada iz STAF plošč za navpično vgradnjo z označenimi kanali za tekočino, pogled.	45
Slika 62: Profil adapterja za dovodne in povratne vode do/od STAF panela, prečni prerez.....	45
Slika 63: Kasetna fasada iz zloženih aluminijastih plošč. [27]	46

Slika 64: Kasetna fasada iz STAF panelov z vrisanim potekom fluidnih kanalov.....	46
Slika 65: Vodoravni prerez (levo) in prečni prerez (desno) skozi prezračeno kasetno fasado iz STAF absorberjev.....	47
Slika 66: Canvas poslovni model za STAF panel.....	51
Slika 67: Konstrukcijska risba prototipa za stebrno fasado z integriranim STAF panelom.	52
Slika 68: Aluminijeve kasete iz absorberskih plošč podjetja Talum d.d. (še vedno brez izolacijskega jedra).	52
Slika 69: STAF panel kot neprozoren element v fasadnem sistemu podjetja Schüco (prototip)	53
Slika 70: Poslovno srečanje 30.05.2018 – Maribor, Slovenija	54
Slika 71: Poslovno srečanje 02.10.2018 – Gradec, Avstrija	54
Slika 72: Poslovno srečanje 22.11.2018 – Laško, Slovenija	54
Slika 73: Poslovno srečanje 05.02.2019 – Gradec, Avstrija	55
Slika 74: Poslovno srečanje 12.06.2019 – Maribor, Slovenija	55
Slika 75: ABS Network poslovna srečanja	56
Slika 76: ABS Network spletna stran	58
Slika 77: Statistike spletne strani.....	59
Slika 78: Novinarska konferenca 1 – 11.10.2017 na TU Gradec:.....	59
Slika 79: Novinarska konferenca 2 – 12.06.2019 v okviru 5. Poslovnega srečanja:	60
Slika 80: Revija „Aluminij“ 5-6/2019	60
Slika 81: Časnik „Finance“ z dne 21.8.2018.....	61
Slika 82: revija „MontelEnergetika.net“ z dne 25.6.2018	61
Slika 83: revija „Steirische Wirtschaft“, september 2018	61
Slika 84: Revija „Energetik“ december 2017	61
Slika 85: Prispevki na konferenci, junij 2018	62
Slika 86: Konferenčni prispevki jeseni 2018 in NUMIFORM 2019	62

Kazalo tabel

Tabela 1: : Rezultati toplotne analize presekov fluidnega kanala Talum d. d.	16
Tabela 2: Temperatura iztoka vode in toplotna moč za različne variante absorberjev z dimenzijami 1,75 x 0,5 m.	17
Tabela 3: Primerjava toplotnih in fluidnih parametrov za različne izvedbe vzorcev fluidnih kanalov..	18
Tabela 4: Ocena simulacije razlike tlakov	19
Tabela 5: Rezultati iz analize 3,5 x 1,0 m STAF panela s 14-kanalnim vodnikom fluidnih kanalov v obliki harfe.	21
Tabela 6: Rezultati analize parametrov za pokrit in nepokrit STAF panel velikosti 3,5 X 1, 0 m.....	23
Tabela 7: Vrednotenje in primerjava rezultatov simulacije zgradbe IDA-ICE.	38
Tabela 8: Toplotna prevodnost λ uporabljenih gradbenih materialov	39
Tabela 9: Mejni pogoji in odpornost na prenos toplote	40
Tabela 10: SWOT-analiza STAF panela	49
Tabela 11: Seznam znanstvenih publikacij projekta ABS-Network	63

Literatura

- [1] „Savosolar,“ 2015. [Online]. Available: <http://www.savosolar.fi/en/products/fractherm-collectors>.
- [2] Amtsblatt der Europäischen Union, *Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates*, 9. März 2011.
- [3] Amtsblatt der Europäischen Union, *Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden*, 19. März 2010.
- [4] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OIB-Richtlinien 1-6*, März 2015.
- [5] ANSYS Fluent 17.0. Userguide/Theoryguide.
- [6] UNAB - Umsetzung nachhaltigen Bauens durch optimierte Projektsteuerungsprozesse und integrale Gebäudehüllen, Technische Universität Graz, 2016.
- [7] Talum, Tovarna aluminija d. d. Kidričevo.
- [8] M. Hörtenhuber, Konstruktion, Aufbau und Inbetriebnahme eines Versuchstandes zur Ermittlung des thermischen Verhaltens eines integralen Fassadenelementes, Graz: Technische Universität Graz, 2017.
- [9] B. Daniel, S. Helmut und H. Christoph, „Analysis of Heating Effects and Deformations for a STAF Panel with a Coupled CFD and FEM Simulation Method,“ *Journal of Facade Design & Engineering*, Bd. 6, Nr. 3, pp. 116-131, 2018.
- [10] J. Avsec, D. Brandl, H. Schober, U. Novosel und J. Ferčec, „Thermal analysis and application of roll bond solar absorbers for heating and cooling in residential buildings“.
- [11] J. Avsec, D. Brandl, H. Schober, D. Strušnik, U. Novosel und J. Ferčec, „LCA Analysis of STAF Panels and their Application for Heating; Cooling and Hydrogen Production,“ *ISES 2019*, 2019.
- [12] <http://www.spf.ch/Kollektoren.111.0.html>.
- [13] Olson DL, Siewert TA, Liu S und Edwards GR, ASM Handbook Vol. 6 Welding, Brazing and Soldering, ASM International, Materials Park, Ohio, USA.
- [14] Yan H und Lenard JG, „A study of warm and cold roll-bonding of an aluminium alloy,“ *Mater. Sei. Eng. A385: 419-428*, 2004.
- [15] Yan HZ, „Key factors for warm rolled bond of 6111-aluminium strip,“ *Trans. Nonferr. Met. Soc. China* 16, pp. 84-90, 2006.
- [16] Eizadjou M, Danesh Manesh H und Janghorban K, „Investigation of roll bonding between aluminum alloy strips,“ *Mater. Design* 29, pp. 909-913, 2008.
- [17] E. M, D. M. H und J. K, „Mechanism of warm and cold roll bonding of aluminum alloy strips,“ *Mater. Design* 30, pp. 4156-4161.

- [18] Sun X, Wu J, Dai Y und Wang R, „Experimental study on roll-bond collector/evaporator with optimized channel used in direct expansion solar assisted heat pump water heating system,“ *Appl. Thermal Eng.* 66:, pp. 571-579, 2014.
- [19] Brandl D, Schober H und Hochenauer C, „Analysis of Heating Effects and Deformations for a STAF Panel with a Coupled CFD and FEM Simulation Method,“ *J. Façade Des. Eng.* 6(3), pp. 116-131.
- [20] Swift HW, „Plastic instability under plane stress,“ *J. Mech. Phys. Solids* 1, pp. 1-18, 1952.
- [21] Barlat F und Lian K, „Plastic behavior and stretchability of sheet metals. Part I: A yield function for orthotropic sheets under plane stress conditions,“ *Int. J. Plast.* 5, pp. 51-66, 1989.
- [22] Olovsson L, „Corpuscular method for airbag deployment simulations in LS-DYNA,“ *Report R32S-1, IMPETUS Afea AB, Huddinge, Sweden*, 2007.
- [23] Wang J und Teng H, „The Recent Progress and Potential Applications of CPM Particle Method in LS-DYNA,“ *Proc. 9th LS-DYNA Forum*, pp. D-III-23-31, 2010.
- [24] [Online]. Available: https://www.dbz.de/artikel/dbz_Pfosten-Riegel-_und_Element-Fassaden_Vergleich_und_Bewertung_3222410.html. [Zugriff am 10 07 2019].
- [25] [Online]. Available: https://www.schueco.com/web2/de/architekten/produkte/fassaden/elementfassaden/schueco_usc_65/. [Zugriff am 10 07 2019].
- [26] [Online]. Available: <https://www.bruchapaneel.com/produkte/wandfassade/pir-wandfassade/Panels/entry/show/bruchapaneel-fp-p.html>. [Zugriff am 10 07 2019].
- [27] [Online]. Available: <https://www.polantis.com/de/enveloppe-metallique/overcladding-with-steel-or-aluminium-cassettes-with-insulation>. [Zugriff am 10 07 2019].
- [28] Fakulteta za energetiko Univerze v Mariboru, „Nutzung der STAF-Paneele zum Heizen,“ Maribor, 2018.
- [29] Statista GmbH, „Statista - Umfrage zur Meinung zu Arten der Energieerzeugung in Österreich,“ [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/868137/umfrage/umfrage-zur-meinung-zu-arten-der-energieerzeugung-in-oesterreich/>. [Zugriff am 21 02 2019].
- [30] Statista GmbH, „Statista - Probleme bei der Umsetzung der Energiewende,“ [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/861110/umfrage/umfrage-zu-problemen-bei-der-umsetzung-der-energiewende/>. [Zugriff am 21 02 2019].