

Ophængte teglelementer

Potentiale for cirkularitet ved genanvendelse



Titel:

Ophængte teglelementer
Potentiale for cirkularitet ved genanvendelse

Rekvirent:

C2 Elements ApS
Plovgårdsvej 24
5250 Odense SV

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
Tlf. 7220 2000
Byggeri og Anlæg
Murværk

Kvalitetssikring:

Sagsansvarlig: Abelone Køster, tlf. 7220 3816, aek@teknologisk.dk
Godkendt af: Jonas Møller Pedersen, tlf. 7220 1759, jmp@teknologisk.dk

Opgave nr.: Emne nr. **0109/110486**

Version nr.: 01

Dato: 28. april 2022

Resultater af Institutts opgaveløsning beskrevet i denne rapport, herunder fx vurderinger, analyser og udbedringsforslag, må kun anvendes eller gengives i sin helhed, og må alene anvendes i denne sag.

Institutts navn eller logo eller medarbejderens navn må ikke bruges i markedsføringsøjemed, medmindre der foreligger en forudgående, skriftlig tilladelse hertil fra Teknologisk Institut, Direktionssekretariatet.

Indholdsfortegnelse

1.	Indledning	4
2.	Formål.....	4
3.	Konklusion	4
4.	Del 1: Produkt overblik og foreliggende dokumentation	6
5.	Del 2: Keramiske materialers karakteristika og levetid	9
5.1.	Vurdering af levetid.....	11
5.2.	Evt. krav til vedligehold.....	12
6.	Del 3: Cirkularitet med udgangspunkt i DS/ISO 20887:2020	12
6.1.	Definition af cirkularitet.....	12
6.2.	Principper	16
6.2.1.	Princip 5.3.1 Understøttende fremgangsmåder.....	16
6.2.2.	Princip 5.3.2 let adgang til komponenter.	17
6.2.3.	Princip 5.3.3 Uafhængighed	17
6.2.4.	Princip 5.3.4 Undgå unødvendige overfladebehandlinger	19
6.2.5.	Princip 5.3.5 Understøtte genbrug (cirkularitet) forretningsmodeller....	21
6.2.6.	Princip 5.3.6 Enkelhed	22
6.2.7.	Princip 5.3.7 standardisering.....	23
6.2.8.	Princip 5.3.8 sikker demontering.....	24
6.3.	Dokumentation (afsnit 6) og Fortsat implementering (afsnit 7)	25
6.4.	Opsamling på vurdering af DfD potentiale.....	25

1. Indledning

Efter aftale med C2 Elements ApS har Teknologisk Institut undersøgt potentialet for cirkulær anvendelse af ophængte teglelementer.

Der redegøres for potentialet i 3 faser:

1. Produktoverblik og foreliggende dokumentation
2. Redegørelse for keramiske materials karakteristika og generelle levetid
3. Cirkularitet af ophængt facadetegl, med udgangspunkt i DS/ISO 20887:2020

Nærværende rapport dokumenterer potentialet for cirkulær anvendelse af ophængte teglelementer for de typer, som er beskrevet i afsnit 4.

2. Formål

Ifølge aftale med rekvirenten havde undersøgelsen følgende formål:

- At redegøre for, at rekvirentens systemer til ophængning af teglelementer, med udgangspunkt i DS/ISO 20997:2020 kan betragtes som "Design for disassembly"
- Ud fra rekvirentens produktdokumentation, at redegøre for forventede levetider af teglelementer, i dansk klima.

Opgaven omhandler kun cirkularitet og levetider af de keramiske elementer. Ophængs-systemer vurderes kun i forhold til Design for disassembly-delen, og kun for genbrug af de keramiske elementer.

3. Konklusion

For de teglelementer, som er beskrevet i *afsnit 4 Produktoverblik*, vurderes det på baggrund af levetiden, som der er redegjort for i *afsnit 5 Keramiske materials karakteristika og levetid*, at teglelementerne kan genbruges (recirculeres) til samme formål, dvs. som ophængte teglelementer, indtil deres levetid er udtømt.

Levetiden vurderes (i afsnit 5) at være mindst 125 år. Teknologisk Instituts holdning er, at vurdering af restlevetid for keramiske materialer ikke skal opfattes som "forventet levetid minus allerede anvendt tid". Restlevetiden ved genbrug af keramiske elementer bør fastsættes på baggrund af en vurdering af materialet. Det vil sige, at f.eks. 70-100-årige keramiske elementer kan være "så gode som nye" og have en restlevetid, som kan "nulstilles" til 125 år – og ikke vurderes til 25-50 år. En vigtig pointe er at vurdere, om der er klimamæssigt slid på materialet, og (såfremt produktet ikke kan identificeres og er kendt) at vurdere kvalitet og brændingsgrad for det keramiske gods.

Hvis elementerne ved evt. nedtagning således vurderes at være intakte og uden skader som følge af nedbrydning, bør restlevetiden vurderes ud fra de keramiske materials egenskaber og ikke ud fra forløben tid. I bedste fald kan restlevetiden da vurderes op til 125 år, uanset alder ved nedtagningen.

Det vurderes endvidere, at de angivne ophængssystemer for Terrart® og Tempio, dokumenteret i:

- Technical Assessment 2/10-1399, Terrart Large – NBK Keramik GmbH & Co, udgivet af www.cstb.fr, 2010
- ETA 13/0166, 29.03.2019, Tempio FK and Tempio FS kits

- opfylder kravene til Design for Disassembly (DfD) iht. "DS/ISO 20887:2020 Bæredygtighed ved byggeri og anlægsarbejder – Design med henblik på afmontering og tilpasning – Principper, krav og vejledning", med få forbehold nævnt nedenfor.

Princippet er at de monteres og kan nedtages igen uden brug af værktøj. De skubbes op, trykkes ind og sænkes. Demontering sker i modsat rækkefølge.

I afsnit 6.4 Opsamling vedr. vurdering af DfD redegøres der for, at 25 ud af 28 relevante principper for DfD er opfyldt eller delvist opfyldt med hensyn til genbrug af de keramiske elementer. De ikke-opfyldte principper drejer sig om 2 principper for bevarelse og overlevering af dokumentation, hvor konceptet i dag ikke anses for fuldstændig modent i forhold til at sikre bevarelse og overlevering af dokumentation af elementerne. Det vil derfor i nogle tilfælde være nødvendigt at etablere fornyet teknisk dokumentation i forbindelse med genbrug, hvilket kan ske ved prøveudtagning. Et ikke-opfyldt princip er anvendelse af recirculeret materiale fra nedrivning i teglelementerne. Dette er i princippet muligt, men ikke dokumenteret i den nuværende produktion.

8 af principperne for DfD må anses for delvist opfyldt. Her drejer det sig i hovedsagen om forhold, som er knyttet til den store variation i teglelementerne med hensyn til formater, farver og overfladebehandling. Variationen er ikke i sig selv en hindring for genbrug, men gør det logistisk mere udfordrende at håndtere teglelementerne fra nedtagning til genbrug. Genbrug vil ofte forudsætte, at brugeren er villig til at kombinere forskellige farver, overflader og evt. formater. Nogle brugere kan se dette som et attraktivt æstetisk træk.

Endelig skal der gøres opmærksom på, at systemerne findes i flere udgaver. I nogle af disse indgår f.eks. brug af klæber i stedet for fjedre, til at fastholde teglelementer mod bevægelse i skinnerne. Vurderingen er foretaget ud fra de systemudgaver, hvor der ikke indgår klæber.

4. Del 1: Produkt overblik og foreliggende dokumentation

Rekvirentens teglelementer leveres og produceres hos to leverandører:

Mayor Ceramica SA

Partida Planet Molinera S/N
03510 Callosa d´en Sarria
Spanien
<https://www.ceramicamayor.com/>

NBK Keramik GmbH

Reeser Straße 235
D – 46446 Emmerich am Rhein
Tyskland
<https://nbkterracotta.com/de/>

Rapporten relaterer til disse fabrikater. Nedenfor gives i tabel 1 og 2 et overblik over formater og overflader, som dog ikke er udtømmende, samt overblik over modtagen dokumentation.

Mayor Ceramica SA

Produktserie	Udgaver/formater	Modtagen dokumentation
Tempio FS, FK kits	Systembeskrivelse	ETA 13/0166
Tempio FS, FK elementer	Som defineret i ETA 13/0166, se fig. 2	BPD3-declaration BVD for C2elements Branche-EPD: GlobalEPD Code: 002-042, fra Spanish Ceramic Tile Manufacturers' Association (ASCER)
Tempio Baguette Oval	160x50xL, 200x50xL 300x62xL	TECHNICAL DATA SHEET
Tempio FK	Ventilated façade FK Ax16xL	TECHNICAL DATA SHEET

Tabel 1. Oversigt over produkter fra Mayor Ceramica SA

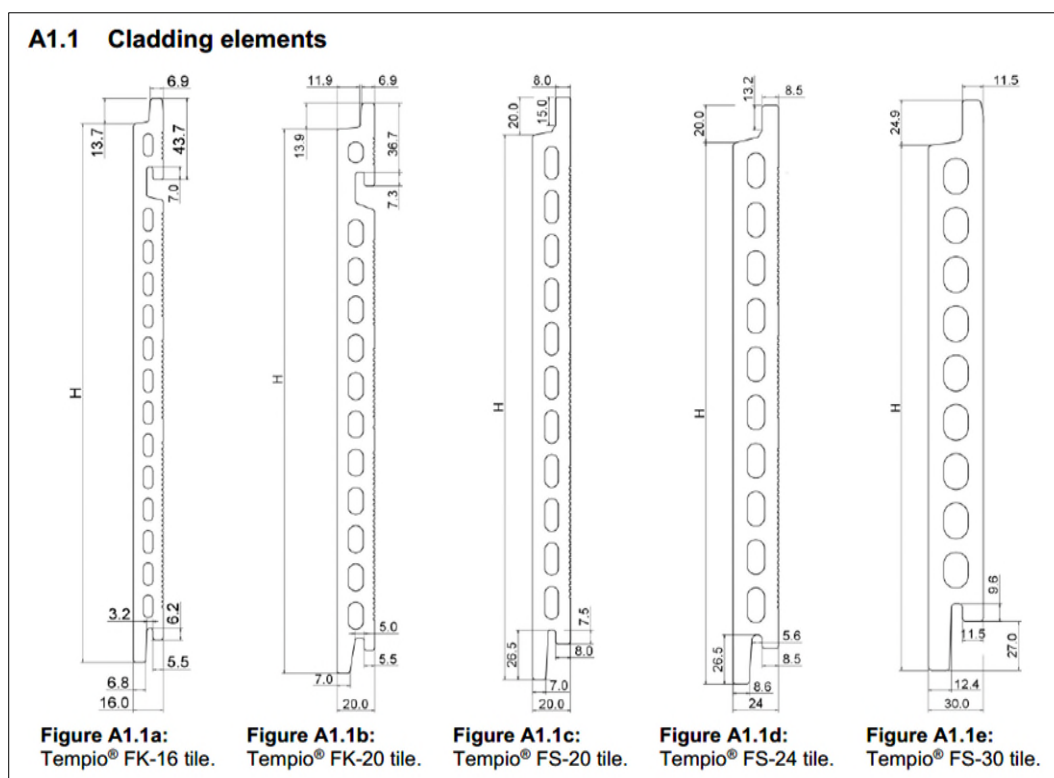


Fig. 1. Produkttyper Tempio FK og Tempio FS, fra ETA 13/0166

Table A1.1: Tempio® FK & Tempio® FS cladding elements.

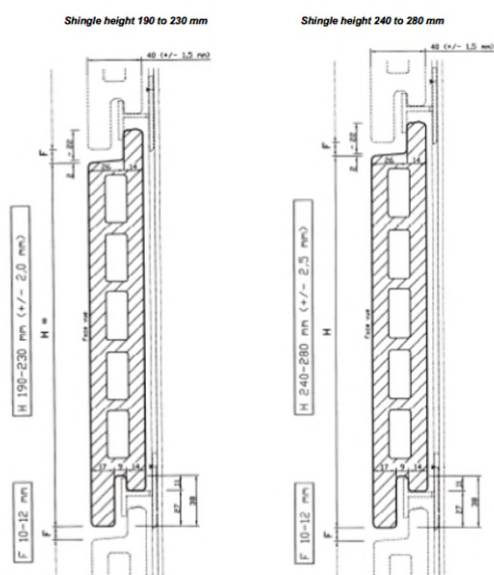
Characteristic	Value					Reference
	FK-16	FK-20	FS-20	FS-24	FS-30	
Form	Tile	Tile	Tile	Tile	Tile	---
	Grooves	Grooves	Grooves	Grooves	Grooves	---
Nominal length (mm)	(variable) ± 1,0 $L_{max} \leq 1200$	(variable) ± 1,0 $L_{max} \leq 1500$	(variable) ± 1,0 $L_{max} \leq 1500$	(variable) ± 1,0 $L_{max} \leq 1500$	(variable) ± 1,0 $L_{max} \leq 1500$	
Nominal width (mm), H	200 ± 2,0	200 ± 2,0	200 ± 2,0	200 ± 2,0		
	250 ± 2,5	250 ± 2,5	225 ± 2,0	250 ± 2,5		
	280 ± 3,0	280 ± 3,0	250 ± 2,5	280 ± 3,0	200 ± 2,0	
	300 ± 3,0	300 ± 3,0	280 ± 3,0	300 ± 3,0	250 ± 2,5	
	400 ± 4,0	400 ± 4,0	374 ± 3,0	400 ± 4,0	300 ± 3,0	
	450 ± 4,0	450 ± 4,0	450 ± 4,0	500 ± 4,0	400 ± 4,0	
Thickness (mm), L	16 ± 1,6	20 ± 2,0	20 ± 2,0	24 ± 2,4	30 ± 3,0	EN ISO 10545-2

Fig. 2. Oversigt over formater, Tempio, fra ETA 13/0166

NBK Keramik GmbH

Produktserie	Udgaver/formater	Modtagen dokumentation
Terrart Large	Systembeskrivelse	Technical Assessment 2/10-1399 Supersedes Technical Assessment 2/06-120
Terrart ®	TERRART®-LARGE TERRART®-MID TERRART®-LIGHT TERRART® CLAD TERRART®-SHINGLE TERRART®-SOLID TERRART®-CUSTOM TERRART®-BAGUETTE Custom Design Formater: Main features <ul style="list-style-type: none"> • Dimensions of the shingles (w x h x l in mm) <ul style="list-style-type: none"> – 40 x (214 to 254) x 1450 – 40 x (264 to 304) x 1450 – 40 x (314 to 414) x 1450 – 40 507 x 1450 – 40 608 x 1350 – 40 x 464 x 1450 with two grooves • Wall thickness: 14 to 17 mm • Area density: about 65 kg/m² • Horizontal installation of shingles with open joints running vertically. • Appearance: Smooth, smooth-glazed or sanded. • Colours: cream, yellow, light yellow, beige, red, brick red, dark red, grey, slate grey. 	EPD-NBK-20160120- CBE1-DE
Terrart Large, Mid, Solid	M 1.0X, M 2.0X, M 3.0X; M 4.0X, M 5.0X, M 6.0X, M 7.0X, M 8.0X, M 9.0X, EMX	TECHNICAL DATA SHEET*

Tabel 2. Oversigt over produkter fra NBK Keramik GmbH.



Figur 3. Tværsnit af Terrart, princip

Formater og størrelser nævnt i tabel 1 og 2 er udgangspunktet, men alle produkterne kan leveres i specialmål. I praksis vil der derfor forekomme flere formater end nævnt.

5. Del 2: Keramiske materials karakteristika og levetid

Levetiden af keramisk tegl er i høj grad bestemt af frostfastheden, specielt i forbindelse med opfugtning af teglet. Frostfasthed er direkte forbundet til teglets mikrostruktur, herunder porøsitet og vandoptagelse, der varierer med mineralogisk sammensætning af det keramiske råmateriale og af brændingstemperatur.

Tabel 3 viser den kemiske sammensætning af Tempio FS og FK (som oplyst i BPD3-declaration). Sammensætningen minder om keramisk tegl af dansk rødt brændende ler med et lavt kalkindhold.

Oxid	Vægt %
SiO ₂	64
Al ₂ O ₃	22
Fe ₂ O ₃	2
Na ₂ O	2.5
K ₂ O	2.5
TiO ₂	1
CaO	0.5
MgO	0.5

Tabel 3. Kemisk sammensætning af Tempio FS og FK (fra BPD3-declaration)

Tabel 4 viser oplyste materialeegenskaber for keramiske materialer i produktlisten, herunder vandoptagelse (Technical Data Sheet). Vandoptaget for de forskellige produkter ligger mellem 0-10 vægt %. Brændingstemperaturen for Tempio Baguette Oval og Tempio FK er oplyst til 1110-1200 °C. Produkterne Terrat- LARGE, -MID, -SOLID, samt Tempio Baguette Oval og Tempio FK opfylder frostfasthedstest udført efter EN ISO 10545-12.

Produkt	Metode	Terrat® (generelt)	Terrat- LARGE, - MID, -SOLID	Tempio Baguette Oval, Tempio FK
Egenskab				
Vandoptag [%]	EN ISO 10545-3	3-10	5.0 – 7.0	0 -7.0
Brudstyrke [N/mm²]	EN ISO 10545-4	> 18 ^a	> 17.5 ^{b,c}	> 17 ^b
Densitet [kg/m³]		2050 - 2200	2050 - 2200	
Frostfasthed	EN ISO 10545-12	-	Opfyldt (100 cykler, EN ISO 10545-12)	Opfyldt (100 cykler, EN ISO 10545- 12)
Brændingstempera- tur[°C]		Vurderet min. 1050 °C	Vurderet min. 1050 °C	1110 – 1200

a: break load

b: Modulus of rupture

c: Kun for homogene og glatte fuldprofilsprodukter. Produkter med huller, udskæringer, ulige eller bølgede overflader mm. kan have en lavere brudstyrke.

Tabel 4. Oplyste materialeegenskaber for keramiske materialer i produktlisten

Dansk teglbrænding foregår typisk ved 1000-1050°C. Med stigende brændingstemperatur opnår keramisk tegl generelt øget styrke, faldende porøsitet, faldende vandoptag og dermed øget frostfasthed (Ikeda et al. 2004¹; Sidjanin et al. 2007²; Ducman et al. 2010³). Vurderingen er derfor, at de keramiske materialer i produktlisten, der er brændt over 1050 °C (se Tabel 4), har lavere vandoptag og øget frostfasthed ift. danskfremstillede tegltagsten.

¹ Ikeda K, Kim H, Kaizu k, Higashi A (2004) Influence of firing temperature on frost resistance of roofing tiles. Journal of the European Ceramic Society 24 (2004) 3671–3677. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2003.12.01

² Sidjanin L, Ranogajec J, Rajnovic D, Molnar E (2007) Influence of firing temperature on mechanical properties on roofing tiles. Materials and Design 28 (2007) 941–947. doi:10.1016/j.matdes.2005.10.002

³ Ducman V, Skapin AS, Radeka M, Ranogajec J (2010) Frost resistance of clay roofing tiles: Case study. Ceramics International 37(1):85-9 doi:10.1016/j.ceramint.2010.08.012

⁴ Renere teknologi til undgåelse af biologisk vækst på murværk, tegl- og betontage", Miljøprojekt nr. 784, 2003. Miljøstyrelsen

Til sammenligning ligger typiske niveauer for vandoptagelse for røde tegltagsten på 11-12 %⁴. Her skal man være opmærksom på, at måling af vandoptag for tagsten normalt foretages ved simpel nedsækning i vand. Den metode, som er anvendt til teglelementerne i produktlisten, udsætter teglelementerne for vakuum og presser derfor vandet længere ind i porerne. Dermed er vandoptaget i teglelementerne i produktlisten generelt noget lavere end det, der kendes fra tegltagsten.

5.1. Vurdering af levetid

BUILD, tidligere Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), angiver i Levetider Af Bygningsdele Ved Vurdering Af Bæredygtighed Og Totaløkonomi, SBI 2013:30 den gennemsnitlige levetid for en række byggematerialer i forskellige anvendelsesområder.

Publikationen er i Danmark hovedkilden til vurdering af bygningsdeles levetid som grundlag for f.eks. totaløkonomiske vurderinger ved forrentning og afskrivning af anlægsomkostninger. Bygningsdelenes levetid lægges endvidere til grund for betragtninger om energiøkonomi og CO₂-udledninger etc. ved livscyklusanalyser af de valgte løsninger. Der foreligger ikke nogen national eller international standard med værdier for levetider af bygningsdele, og det fremgår af SBI 2013:30:

”I princippet kan den faktiske levetid ikke bestemmes ud fra et statistisk kendskab til de enkelte levetiders fordeling, men må afgøres eksemplar for eksemplar af bygningsdelen. Gennemsnittet bestemmes derefter. Dette ville kræve, at der fandtes empiriske data, som var retvisende og dækkende, for hver enkelt bygningsdel, og som beskrev, hvor gamle bygningsdele faktisk bliver, og hvad der afgør levetiden. Der findes i dag ikke et sådant datamateriale for danske forhold, dansk byggeskik og danske bygningsdele, og vurdering af den faktiske levetid må derfor tage udgangspunkt i en vurdering af den enkelte levetids fordeling samt deres indbyrdes forhold.”

Videre hedder det:

”Formålet med denne rapport er derfor at vurdere den gennemsnitlige levetid for bygningsdele, som er relevant ved vurdering af bygningers bæredygtighed.”

Således er følgende levetider opgjort for tegl (udvendig anvendelse):

Bygningsdelskode	Bygningsdele	Tekniske middellevetider, år	
		Tegl	Glaseret tegl
(31)6	Sålbænke, inddækninger mv	80	100
(41)3	Ydervægge, udvendig overflade	100	120
(47)1	Tage, overflader	60	80

Tabel 5. Fra SBI 2013:30, Appendix F

Levetiderne i Tabel 5 må betragtes som minimumslevetider. Den faktiske levetid kan efter Teknologisk Instituts erfaringer være betydelig længere, og sættes typisk til 125

år for ældre danske tegltagsten. I forbindelse med vurdering af potentiale for genbrug, hvor sådanne ældre tagsten undersøges for slitage og nedbrydning, kan det ved laboratorieundersøgelser typisk konstateres, at det brugte keramiske materiale har de samme materialeegenskaber som et tilsvarende nyt materiale. Dermed er der ingen indikationer for, at det gamle materiale har lavere restlevetid end det nye materiale. Teknologisk Institut vurderer i dette tilfælde at restlevetiden kan nulstilles, altså at restlevetiden på ny er 125 år.

Brændingstemperaturen for de keramiske materialer i produktlisten vurderes brændt ved mindst 1050 °C ud fra forelagte produktprøver og typisk højere, dvs. brændt ved en højere temperatur end typisk dansk tegltagsten. Det vurderes derfor, at de har mindst samme levetid i udgangspunktet, altså 125 år, med potentiale for genbrug.

Det er endvidere velkendt, at keramiske materialer er UV-bestandige og ikke nedbrydes af sollys, ligesom farverne ikke ændres ved UV-bestråling.

5.2. Evt. krav til vedligehold

Byggevarer af tegl kræver normalt ikke vedligehold, og det er ikke nødvendigt at rengøre dem ud over af æstetiske hensyn. Under visse forhold kan der forekomme biologisk vækst (alger, mos etc.) men dette er ikke skadeligt for teglet

(kilde: "Renere teknologi til undgåelse af biologisk vækst på murværk, tegl- og betontage", Miljøprojekt nr. 784, 2003).

Det kan dog være tegn på opfugtning og omstændighederne ved biologisk vækst bør derfor undersøges nærmere, når det forekommer, men har som sådan ikke indflydelse på holdbarheden af det keramiske materiale.

Rengøring af pletter og skjolder på NBK-komponenterne foregår normalt ved brug af vand, men afhængig af typen af pletter, kan det være nødvendigt at kontakte NBK, som vil kunne anbefale en pletfjerner (jf. Technical Assessment 2/10-1399, pkt. 2.22 Durability - maintenance).

6. Del 3: Cirkularitet med udgangspunkt i DS/ISO 20887:2020

6.1. Definition af cirkularitet

Cirkularitet af produkter betegner muligheden for direkte at genbruge et produkt til dets oprindelige anvendelse.

Der er tre væsentlige forudsætninger for cirkularitet, forstået som muligheden for direkte genbrug af byggevarer, som er:

1. At det er muligt at adskille byggevaren fra bygningen på en ikke-destruktiv måde, og så byggevarens egenskaber er bevaret.
2. At byggevaren har en restlevetid efter nedtagning, som gør genanvendelse økonomisk rentabel
3. At dokumentation om byggevarens egenskaber er bevaret i videst muligt omfang.

Det sidste krav er ikke ufravigeligt, idet det er muligt ved test at skabe ny dokumentation for byggevaren.

Det første krav kan opfyldes, når konstruktionen, som byggevaren indgår i, er designet for adskillelse, også kaldet "Design for disassembly" (DFD). Princippet er karakteriseret ved en række guidelines, som bør være opfyldt af byggesystemet, som den cirkulære byggevare indgår i.

Standarden:

- "DS/ISO 20887:2020 Bæredygtighed ved byggeri og anlægsarbejder – Design med henblik på afmontering og tilpasning – Principper, krav og vejledning"

-er et internationalt standardiseret grundlag for at kvalificere byggesystemer som DFD. Der er taget udgangspunkt i denne standard for at redegøre for, at C2elements systemer for ophængte teglelementer er DFD, således at teglelementerne dels kan udtages i forbindelse reparation og udskiftning, dels kan udtages og genanvendes med minimalt spild i forbindelse med nedrivning.

Standarden DS/ISO 20887:2020 angiver ikke specifikke krav til systemer, men angiver en række krav og anbefalinger, som bør opfyldes.

Systemerne Terrart® og Tempio FK og FS er undersøgt i forhold til DS/ISO 20887:2020 krav og anbefalinger til DFD.

Som grundlag for vurderingen anvendes følgende dokumentation fra producenten:

- Technical Assessment 2/10-1399, Terrart Large – NBK Keramik GmbH & Co, udført af www.cstb.fr, 2010
- ETA 13/0166, 29.03.2019, Tempio FK and Tempio FS kits

De to systemer gennemgås under ét, hvor der ikke ses principielle forskelle.

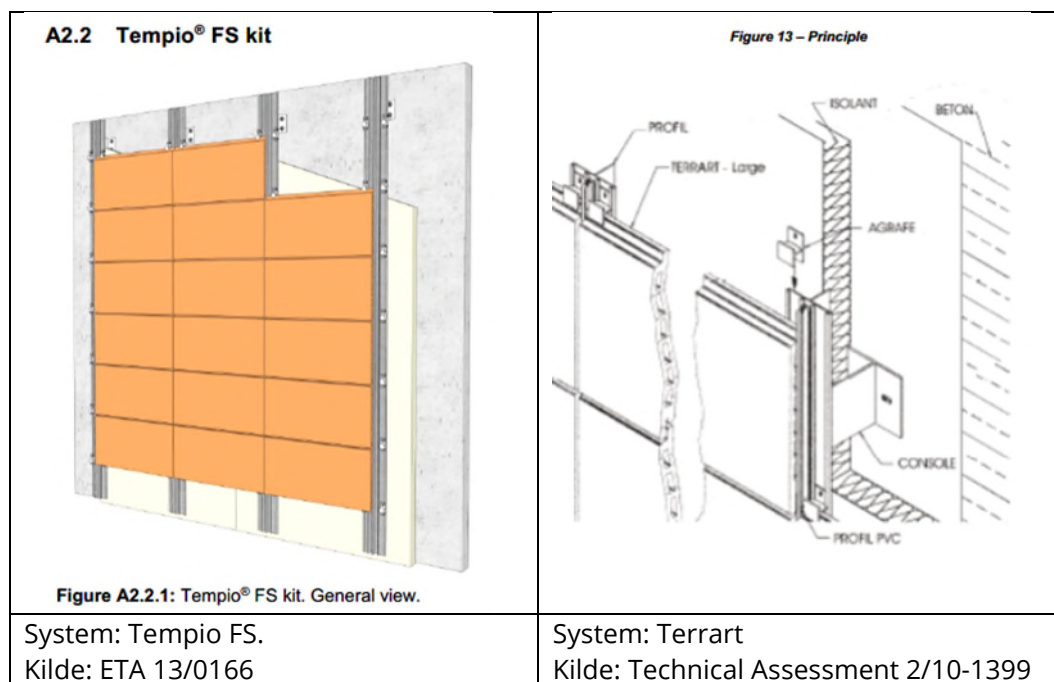


Fig. 4: Overordnede monteringsprincipper for Tempio og Terrart

Der er herefter foretaget en samlet evaluering af systemerne, hvorunder også relevansen af de enkelte krav og anbefalinger er vurderet, idet det kun er cirkularitet af selve teglementerne som vurderes.

Beklædningssystemerne består overordnet af:

- Beklædningselementer i keramisk materiale, i forskellige udformninger og former
- Fastgørelsessystem til den bærende facade, bestående af alu-skiner, vinkler og rustfaste skruer
- "subframe" systemet, som fastholder beklædningselementer til fastgørelsessystemet. Det består af lodrette alu-skiner, tilbehør i alu og NBR-PVC eller PVC

Table 1.1: Kits components.

N.	Generic component		Type A - Tempio® FK kit (family C)	Type B - Tempio® FK kit (family C)	Type C - Tempio® FS kit (family C)	Technical description in Annex 1
1	Cladding element (*)		Tempio® FK-16 & Tempio® FK-20		Tempio® FS-20; Tempio® FS-24 & Tempio® FS-30	§A1.1
2	Cladding fixing	Fixing device	Aluminium alloy continuous horizontal profiles	Aluminium alloy discontinuous rails	Aluminium alloy clips	§A1.2
		Screw	Stainless steel screws			
		Ancillary components	Stainless steel spring or MS adhesive spot		NBR-PVC pieces	
3	Subframe	Vertical profile	Aluminium alloy T profiles			§A1.3
		Bracket	Aluminium alloy brackets			
		Subframe fixing	Stainless steel screws			

(*) Extruded ceramic tiles according to EN 14411.

Fig. 5. Uddrag af ETA 13/0166 som viser en oversigt over komponenterne i systemet for Tempio.

<p>1. Short definition of the system</p> <p>1.1 Summary</p> <p>The built-up cladding process is based on double-walled stoneware elements, covered and secured with invisible aluminium clips on an aluminium frame secured to the structural work. Possible use of TERRART LARGE system for soffit cladding for horizontal walls and lintels.</p> <p>2.24 Provision Elements provided by NBK include shingles with their attachment clips, studs and aluminium sections of the TERRART-FLEX frame. All other elements, namely mounting pins, insulation and additional section coverings are directly supplied by the installer in accordance with the description given in this technical dossier.</p>	<p>2.2 Used for application</p> <ul style="list-style-type: none"> Aluminium alloy EN AW 6060 T5 TERRART-FLEX structural system including: <ul style="list-style-type: none"> T-Mounts fixed to structure at set and moveable points. T-mounts. Aluminium alloy EN AW 6060 T5 clips maintained on the frame by a grade A2 stainless steel bolt. PVC cover-strip PVC wedge profile ACERMI-certified, EC-marked insulation with equivalent characteristics to the minimum classification I₁ S₁ O₂ L₂ E₁. Additional L-section folded plates for coverings.
--	---

Fig. 6. Uddrag af Technical Assessment 2/10-1399 som viser en oversigt over komponenterne i systemet for Terrart.

Som det fremgår er systemet baseret på separate komponenter af rustfast stål, aluminium eller NBR-PVC eller PVC. Det bemærkes dog, at der findes udgaver med mindre brug af lim/fugemasse, men det er muligt at vælge udgaver uden anvendelse af lim, fugemasse eller anden kemisk samling. Det vil sige, at alle samlinger er mekaniske, forstået på den måde, at alle samlinger kan adskilles igen i deres oprindelige dele, modsat en kemisk samling med lim, fugemasse eller mørtel. Kemiske samlinger kan ikke adskilles uden at ødelægge mindst en komponent.

I Figur 6 nævnes komponenter af PVC. Der er tale om skyggelister, som ikke er nødvendige for systemet, og som i Danmark ifølge rekvirentens oplysninger typisk

erstattes af alu-lister. Komponenterne er uden betydning for fastholdelse af teglelementerne.

Selve teglelementerne monteres og kan nedtages igen uden brug af værktøj. De skubbes op, trykkes ind og sænkes. Demontering sker i modsat rækkefølge.

I den efterfølgende vurdering af systemerne lægges det til grund, at der er valgt systemudgaver uden brug af lim/fugemasse, samt at installationsvejledninger er fulgt og de anbefalede komponenter er anvendt, etc.

6.2. Principper

I Standarden DS/ISO 20887:2020 er det kun principperne for adskillelse, *afsnit 5.3 Dis-assembly principles*, som omhandler materialeressourcerne, der er relevante for bedømmelse af C2Elements. Det er endvidere noteret i *afsnit 5.1, note 1*, at ikke alle principper nødvendigvis er gældende i alle situationer.

I den efterfølgende gennemgang vil der blive redegjort for årsagen, såfremt et princip ikke finder anvendelse og derfor ikke skal eftervises for systemet. Det gælder således for denne gennemgang, at det kun er genanvendelse af teglelementerne, som behandles, ikke selve ophængssystemet.

Nedenfor gennemgås principper, og for hvert princip er det vurderet, om det er opfyldt eller ej.

6.2.1. Princip 5.3.1 Understøttende fremgangsmåder

Understøttende fremgangsmåder er sådanne, som fremmer DfD, uden at være ufravigelige krav.

Krav	Henvisning, redegørelse	Vurdering
a) Brug af materialer og komponenter, som nemt, sikkert og kosteffektivt kan erstattes	Teglelementer og øvrige komponenter kan udskiftes, men overordnet kun med systemkomponenter. Da teglelementerne kun er fastholdt med en form for klemsystem, kan de i princippet erstattes med andre fabrikater, som har samme mål.	Delvis opfyldt
b) Metode til håndtering ved demontering angivet	Der anvendes samme metode som montering, men i modsat rækkefølge. Der foreligger en video, som viser fremgangsmåden.	Opfyldt
c) Passende størrelse af komponenter for håndtering (metoden)	De største elementer er: Terrart, op til 40x608x1350 mm Tempio, 30x400x1500 mm eller 24x550x1500 mm	Opfyldt

Krav	Henvisning, redegørelse	Vurdering
	Vægten er angivet til ca. 65 kg/m ² . Dermed er vægten af de største elementer op til ca. 55 kg, hvilket kræver hjælpemidler til løft. Der findes generisk værktøj med "gribekløer", som kan anvendes til dette.	
d) Reservedele (inklusive oplagring) tilbydes	Reservedele tilbydes, men ikke oplagring	Ikke relevant for teglelementer

Tabel 6.

6.2.2. Princip 5.3.2 let adgang til komponenter.

Et vigtigt princip for DFD er, at de komponenter som skal adskilles, er let tilgængelige, og at der er plads rundt om samlingen til at anvende det fornødne værktøj.

Krav	Henvisning, redegørelse	Vurdering
Let adgang til komponenter	Teglelementer monteres som den yderste beklædning i facaden og er således frit tilgængelige.	Opfyldt
Samlinger skal være tilgængelige, udskiftning af elementer	Udskiftning af elementer kræver ikke værktøj til udtagning, men evt. løftegrej afhængig af størrelsen Intet værktøj, dog i praksis en mejsel til at løfte teglen op, og så trække den ud og ned.	Opfyldt
Samlinger skal være tilgængelige, nedtagning af alle elementer	Elementer kan nedtages uafhængigt af hinanden	Opfyldt

Tabel 7.

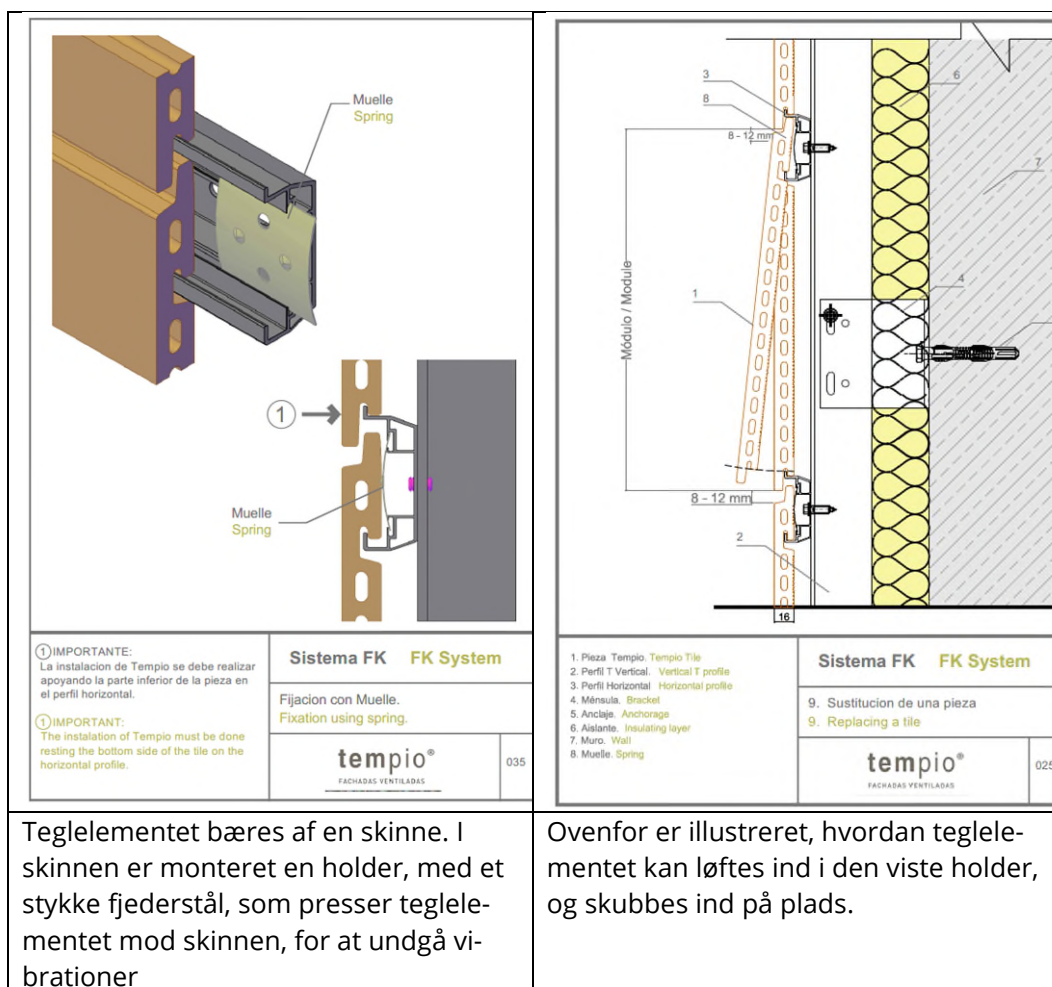
6.2.3. Princip 5.3.3 Uafhængighed

Princippet om uafhængighed betyder, at enkelt dele kan udtages for udskiftning uden at påvirke systemets ydeevne. Det enkelte teglelement er uafhængigt, og indgår ikke som en bærende del. Da hele facadesystemet ophænges på en bærende facade, betyder det også, at det er muligt at nedtage alle teglelementer. Det vil også sige, at hele facadesystemet kan nedtages uden at konstruktionerne påvirkes. Det vil sige at man kan nedtage og genbruge elementerne, både i forbindelse med en facaderenovering og ved en egentlig nedrivning af bygningen, enkeltvis eller samlet.

Krav	Henvisning, redegørelse	Vurdering
Enkeltdele kan udtages uafhængigt	Ja for teglelementer. Dette fremgår af dokumentationen. Systemerne er ikke bærende, og de enkelte teglelementer kan udtages uafhængigt af hinanden, jf. video og montage vejledning	Opfyldt
Reversible samlinger	Der anvendes kun mekaniske samlinger i form af holdere og klips af aluminium eller fjederstål, som klemmer/bærer teglelementerne.	Opfyldt
Generiske samlinger – ikke krav om specialværktøj	Der kræves ikke specialværktøj til udtagning af teglelementer, men dele til fastholdelse af elementer er systemspecifikke.	Opfyldt
Uafhængig af specialprodukter (f.eks. fra specifikke leverandører)	Der er tale om en systemløsning, hvor alle dele dog undtaget evt. almindelige skruer er en del af systemet og derfor kun leveres af systemleverandøren.	Delvist opfyldt ¹⁾

Tabel 8

¹⁾ Det bemærkes, at selve fastgørelsen af teglelement beror på en simpel "tongue and groove" udformning af teglelementet, hvor det ophænges i holdere som vist. Man kan således godt forestille sig alternative, fremtidige ophængssystemer, som udnytter teglelementets udformning med alternative klips eller holdere, såfremt de originale ikke fås ved genanvendelsen. Derfor betragtes kravet som delvis opfyldt.



Figur 7

Systemet er her vist med en fjeder til at sikre, at teglet ikke bevæger sig. Dette kan også udføres med fugemasse. Det er væsentligt at benytte fjederløsningen, for en fuldstændig mekanisk samling.

6.2.4. Princip 5.3.4 Undgå unødvendige overfladebehandlinger

Man bør selvfølgelig undgå overfladebehandlinger med skadeligt indhold, som kan hæmme genanvendelse af produktet i alle former. Teglelementer fås både uden overfladebehandling og med glasur. Glasuren har samme holdbarhed som elementet og indeholder ikke skadelige stoffer, jf. uddrag som vist i fig. 8.

Colour pigments are used in compounds and glazes. The raw materials are metal oxides that are mixed with engobes or glazes and fired at around 1,050–1,150 °C. This results in inter-crystalline glass-type products which, as almost inert materials, do not contribute to environmental or toxicological problems. Integration in the crystal lattice causes the metal oxides to lose all of their original chemical, physiological and physical properties. Engobe: is a porous to dense clay-based fired surface coat. Glaze: is a glass-based fired surface coat.

Fig. 8. Uddrag af EPD-NBK-20160120-CBE1-DE, Terrart, vedr. råmaterialer som indgår i gods og overfladebehandlinger (engober og glasurer).

Glasuren er alene en æstetisk komponent. Glasuren hæmmer ikke genanvendelsen teknisk set, men æstetisk kan det være en udfordring i forbindelse med genanvendelse, at teglelementerne kan have forskellige farver, idet man måske ikke kan skaffe nok i en given farve til en tiltænkt anvendelse og det ikke er sikkert, at farven kan suppleres efter flere år. Det giver også større udfordringer med lagerføring at holde farver sorteret.

Jo flere forskellige varianter, jo vanskeligere vil det være for en aktør, som forhandler materialer til genbrug, at oplagre og tilbyde elementerne til genbrug.

Imidlertid er der en tendens, som afhjælper dette dilemma, nemlig at den store interesse for genbrug blandt både bygherrer og arkitekter, giver en større tolerance over for denne udfordring. Man kan sagtens forestille sig scenarier, hvor det ses som attraktivt at kombinere forskellige farver af keramiske elementer, og sågar også forskellige højdeformater.

Det kan være købersegmenter, som vil betragte det som en spændende feature at kombinere farver og overflader med eller uden glasur, specielt arkitekter og bygherrer, som gerne vil signalere, at der er tale om genbrug af et cirkulært produkt. Noget sådant kendes fra genanvendelse af mursten, hvor det ses som attraktivt at blande farver fra forskellige kilder af mursten.

Derfor kan princip 5.3.4 ikke besvares med et simpelt ja eller nej. Der forekommer overfladebehandling, men det begrænser kun i ringe grad genbrug, og kun ud fra æstetiske overvejelser, og eventuelle dermed forbundne logistiske udfordringer.

Krav	Henvisning, redegørelse	Vurdering
Uden overfladebehandling med skadeligt indhold	Elementer med glasur eller engobe indeholder kun keramiske elementer	Opfyldt
Uden overfladebehandling, som hæmmer genanvendelse	Glasur eller anden farve kan af æstetiske årsager hæmme genanvendelse, men ikke recirkulation	Delvis opfyldt

Tabel 9.

6.2.5. Princip 5.3.5 Understøtte genbrug (cirkularitet) forretningsmodeller

Dette princip retter sig mod at understøtte markedet for salg og køb af brugte teglelementer, såkaldte cirkulære forretningsmodeller. Princippet vurderes ud fra de enkelte punkter gennemgået nedenfor.

Genanvendelighed (genbrug)

Teglelementerne er direkte genanvendelige i deres oprindelige form, til samme anvendelse, defineret som "genbrug". I sin levetid kan teglelementerne genbruges flere gange, i princippet et ubegrænset antal gange. Der er tale om en komponent, som ikke ændres ved montage, og som kan udtages uden beskadigelse. Teglelementer, som evt. er tilpasset i længde, kan stadig anvendes, hvis det accepteres i den nye facade, at elementerne har varierende længde.

Der henvises til afsnit 4 om levetid.

I forbindelse med vurdering af genanvendelighed skal det også overvejes, om den samme anvendelse må anses for sandsynlig i et fremtidigt byggeri – altså om man også i fremtiden kan forventes at anvende facader beklædt i tegl, fastholdt i ophængningssystemer.

Når det tages i betragtning, at ophængte teglfacader i deres nuværende form allerede har været kendt fra ca. 1980, inklusive til efterisolering og reovering af f.eks. betonfacader, må det anses for sandsynligt, at man også i fremtiden vil bygge og reovere med sådanne systemer.

Tagsten som ophænges på lægter har været kendt i århundreder. Princippet med en demonterbar, ventileret klimaskærm fastgjort til en bærende facade er kendt også for andre typer beklædning og må forventes anvendt i fremtiden i samme omfang.

Renoverbarhed

Renoverbarhed eller "refurbishability" dækker over muligheden for at genskabe et produkts æstetiske og funktionelle karakteristika. Dette er ikke relevant for teglelementer.

Gen-fremstillelighed

Gen-fremstillelighed eller "Remanufacturability" er et begreb som betegner muligheden for at adskille og genfremstille et produkt eller et system. Da det kun er teglelementerne som undersøges, er begrebet ikke relevant, men i sin yderste konsekvens kan teglelementer nedknuses og indgå som råmateriale i nye keramisk produktion.

Increased recycling

Dækker over det princip, at der i produktet indgår genanvendt (recirculeret) materiale. Det er i princippet muligt at anvende en del genanvendt materiale, f.eks. nedknust keramisk materiale, indvundet fra nedrivning, i teglproduktion. Det er ikke dokumenteret, at det er tilfældet med de aktuelle teglelementer. Det er ikke et krav.

Fremtidig recycling "cirkularitet" recyclability

Et materiale er cirkulært, hvis det kan separeres fra affaldsstrømmen, og via allerede eksisterende processer, faciliteter og markeder, kan indgå i økonomien (ny produktion). Ud over at det omstående eftervises, at (hele) teglelementer kan genbruges til samme funktion, så må det samtidig anses for dokumenteret, at teglelementer og brudstykker heraf nemt kan udsorteres af affaldsstrømmen, idet det under punkt 6.1 er vist, at materialet kan adskilles mekanisk i alle samlinger.

Der er allerede et marked i Danmark for anvendelse af nedknust keramisk materiale til anvendelse i murstensindustrien og flere anvendelser er under udvikling.

Samlet oversigt:

Krav	Henvisning, redegørelse	Vurdering
Genanvendelighed	Teglelementerne er direkte genbrugelige til samme formål	Opfyldt
Renoverbarhed	Enkeltelementer kan udskiftes, ligesom hele systemet kan adskilles og udskiftes.	Opfyldt
Gen-fremstillelighed		Ikke relevant
Increased recycling	Der indgår genanvendt materiale i produktet, i form af chamotte, indvundet fra produktionen. Dette betragtes imidlertid ikke som recycling, da det er inden for fabrikken	Ikke opfyldt Recycling ikke dokumenteret, men muligt
Fremtidig recycling	Kan nedknuses og genanvendes i tegl. Der er allerede et marked for dette i DK	Opfyldt

Tabel 10

6.2.6. Princip 5.3.6 Enkelthed

Enkelthed er det princip, at et system er designet på en enkel måde, som er nem at forstå og som kan anvendes til formålet med mindst mulig tilpasning til den enkelte byggesag. Enkelthed reducerer antallet af forskellige komponenter og materialer, med færrest mulige specialkomponenter.

Samlingerne i underlaget for teglelementer er relativt komplekse. Der er særlige komponenter vedr. hjørner og afslutninger. Men disse tilpasninger ligger primært i system komponenter, ikke i selve teglelementerne. Dog bliver der til nogle projekter

fremstillet specialformater af teglelementerne til hjørner. Dette er ikke en nødvendighed for systemet, men kan altså forekomme, afhængig af bygherres ønsker.

<p>3.2 Angle shingles (see Fig. 5 and 5a) Angle shingles are standard TERRART LARGE elements with a bevelled edge at one end. They may have either exterior or interior cornerings. The mounting point of angle shingles is shifted from the end of the shingle by 300 mm maximum allowing the vertical section to be positioned at the standard and correct distance from the edge of the load-bearing structure.</p>	<p>3.10 Additional cladding Metal cladding profiles usually used for specific points of traditional cladding. Most types are included in the catalogue of specialised producers; others are cut on request, depending on the site and must meet the minimum specifications listed in Table 5 at the end of the dossier.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Class 15 or 20 anodic oxidized aluminium sheets in accordance with standard NF A 91-450 (minimum specifications according to NF P 24-351) or pre-painted according to NF EN 1396, 10/10th or 15/10th mm thickness. • Galvanized steel plates at least Z 275 in accordance with standard P 34-310. • Pre-painted galvanized steel plates at least Z 275 in accordance with standard XP 34-301. <p>Aluminium or PVC cladding for re-entrant or jutting angles from PROTEKTOR or similar.</p>
---	---

Tabel 11, uddrag af teknisk anvisning for Terrart, som omtaler hjørneløsninger

Krav	Henvisning, redegørelse	Vurdering
Princip for op-hængte tegl	Simpelt "tongue and groove"	Opfyldt
Ophængssystemet	Relativt kompliceret (måske ikke relevant for selve teglelementer ?)	ikke relevant
Hjørner, afslutninger	special komponenter er ikke krævet, men kan være ønsket af arkitekt og specialfremstilles eller tilpasning af mål. Der kan forekomme specialkomponenter, som vanskeligt kan genbrugs	Delvis opfyldt

Tabel 12

6.2.7. Princip 5.3.7 standardisering

Graden af standardisering vurderes ud fra graden af modularitet (anvendelse af modul mål og standard komponenter) og muligheden for at udskifte komponenter med andre, dvs. om man skal man anvende systemkomponenter i alle tilfælde.

Spørgsmål som må stilles for at vurdere graden af standardisering er f.eks. : Er der anvendt modulmål? Kan der suppleres med f.eks. teglelementer fra konkurrerende fabrikater?

Krav	Henvisning, redegørelse	Vurdering
Modularitet, modulmål	Der eksisterer ikke vedtagne modulmål for teglelementer, men alle mål kan tilpasses brug af ophængssystem.	Delvis opfyldt
Dimensioner	I udgangspunktet opdelt i grupper inden for hver type, men individuelle mål tilbydes	Delvis opfyldt
Komponenter	Kun indenfor systemet. Komponenter af forskellige farve kan kombineres.	Opfyldt
Samlinger (tjek)	Samlingen for selve teglelementet er så simpel, at en egentlig standardisering ikke anses for påkrævet.	Opfyldt
Modularitet	Ikke relevant for elementerne	Ikke relevant
Interoperabilitet*)	For selve teglelementerne er det muligt at anvende alternative leverandører, når blot målene stemmer overens.	Delvis opfyldt

Tabel 13. *) kan bruge dele fra et andet system

6.2.8. Princip 5.3.8 sikker demontering

Princip "Sikker demontering" henviser til tabel 2, som indgår i standardens afsnit 6 om dokumentation, som gennemgås i notatets afsnit 6.3. Tabel 2 er opstillet som en tjekliste for nødvendig information i forbindelse med DfD.

Krav	Henvisning, redegørelse	Vurdering
Demontering beskrevet i montagevejledning	Demontering af keramisk element sker uden værktøj og rækkefølge er uden betydning	Opfyldt
DfD design detaljer i tegninger, specifikationer og demonteringsplan	Ikke udarbejdet	Ikke opfyldt
Plan for nedtagning, herunder rækkefølge, foreligger	Rækkefølgen er uden betydning	Ikke relevant
Sporbare materialelister, leverandører, garantier	De keramiske elementer er præget med på bagsiden med producent og batchnummer som er sporbart til producentens fabriksproduktionskontrol Dette gælder dog ikke alle produkter (ikke de "buede")	Delvis opfyldt
Metode for livslang overlevering af data	Der er ikke udviklet en metode	Ikke opfyldt
Bar code or RFID tagging.	Stemplet bagside, permanent mærkning i selve materialet, se figur 8.	Opfyldt

Tabel 14



Figur 8. Eksempel på permanent mærkning af element

6.3. Dokumentation (afsnit 6) og Fortsat implementering (afsnit 7)

DS/ISO 20887:2020 har et afsnit om dokumentation til at supportere nedtagelse af konstruktioner, som opstiller en række særlige krav til at dokumentation og information gøres tilgængeligt i konstruktionens levetid.

En stor del af kravene relaterer sig primært til den enkelte byggesags dokumentation, og er derfor ikke relevant for bedømmelse af produktdokumentationen. Rekvirenten har oplyst, at der til byggeprojekter som standard afleveres sædvanligt KS materiale, dokumentation etc., som kan danne grundlag for supportering af genbrug.

Endvidere har standarden et afsnit om fortsat implementering af DfD, hvilket heller ikke ses som relevant for den umiddelbare bedømmelse af potentialet for genbrug af teglelementer.

6.4. Opsamling på vurdering af DfD potentiale

Som beskrevet i afsnit 6.2 Principper, er vurderingen af DfD potentialet, og dermed cirkularitet af teglelementer foretaget ved at gennemgå alle principper og vurdere om de er relevante for genbrug af ophængte teglelementer, og om de må anses for opfyldt med udgangspunkt i de foreliggende systemer.

Den samlede optælling er gengivet i tabel 15:

Bedømmelse:	Antal principper
Opfyldt	17
Delvis opfyldt	8
Ikke opfyldt	3
Ikke relevant	5
Principper i alt	33

Tabel 15

Der er i alt 33 principper i standardens afsnit 5, hvoraf 28 anses for relevante for vurdering af cirkularitet af ophængte teglelementer.

3 ud af 28 principper vurderes som "ikke opfyldt". 2 af de ikke-opfyldte principper drejer sig om principper for bevarelse og overlevering af dokumentation, hvor konceptet i dag ikke anses for fuldstændig modnet i forhold til at sikre bevarelse og overlevering af dokumentation af elementerne. Det vil derfor i nogle tilfælde være nødvendigt at etablere fornyet teknisk dokumentation i forbindelse med genbrug, hvilket kan ske ved prøveudtagning.

Det sidste ikke-opfyldte princip drejer sig om brug af recirculeret materiale i selve produktet. I dag anvendes chamotte, som er knust tegl fra fabriksproduktionen, i nye tegl. I princippet kunne også recirculeret materiale fra nedrivning anvendes. Dette er dog ikke dokumenteret i dag.

8 af principperne for DfD må anses for delvist opfyldt. Her drejer det sig i hovedsagen om forhold, som er knyttet til den store variation i teglelementerne med hensyn til formater, farver og overfladebehandling. Dette er behandlet i afsnit 6.2.4 ovenfor.