

Genbrug af tegltagsten Lystoftehus, DAB

Oktober 2021

WISSENBERG

Arkitekt, MAA Søren B. Schächter



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

DAB

Dansk
almennyttigt
Boligselskab

STØTTET AF

Realdania

Det kan betale sig

Nærværende dokument indeholder den samlede leverance for undersøgelsen, som DAB i foråret 2021 opnåede støtte fra Realdanias pulje om klimamæssig bæredygtighed i almen boligorganisationers renoveringsprojekter.

Resultatet er lovende. Beregninger viser, at genbrug af tegltagsten i Lystoftehuse vil medføre en besparelse i drivhusgasudledninger på hele 97 % og – måske lidt uventet – en økonomisk besparelse på op mod 10 %.

At tagsten af tegl i dag genbruges i ganske begrænset omfang, skyldes ikke manglende besparelspotentiale, men i stedet en lang række logistiske såvel som strukturelle barrierer. Iblandt disse barrierer fremhæves i indeværende rapport den indledende screeningsproces, hvor tagets tilstand vurderes. Rigtig mange tegltage kasseres alt for tidligt, fordi man ikke bruger de ressourcer, der er nødvendige, for at vurdere tagets kvalitet. Hvis genbrug skal fremmes, er der behov for at udvikle standardiserede metoder for at udføre en sådan vurdering med tilhørende kvalitetsdokumentation for genbrugte tegltagsten, så det ikke kun er op til bygherre at løbe de risici, der kan være forbundet med genbrug af byggematerialer.

Undersøgelsens resultater er sammenfattet i fire delelementer; en LCA-rapport, en barriereanalyse, en LCC-beregning og en rapport udarbejdet af Teknologisk Institut, som har undersøgt beskaffenheden af de eksisterende tagsten. De fire delelementer opsummeres på næste side.

Bidragydere

Mads Kampmann Petersen og Iver Pedersen,
Wissenberg rådgivende ingeniører

Søren B. Schächter, Tegnestuen SBS
Peter Bentzon, Peter Bentzon & Co-

Abelone Køster, Teknologisk Institut

En særlig tak til:

Nanna Marie Aae Christensen, projektleder, DAB

Torben Jacobsen, Tegllageret

Jan Andersen, murermester

Mads Søndergaard, nedrivningsfirmaet Søndergaard A/S

LCA-rapport

Der er foretaget en komparativ livscyklusvurdering (LCA), hvor miljøpåvirkninger forbundet med oparbejdning af tegltagsten til genbrug sammenlignes med miljøpåvirkninger forbundet med anlæggelse af samme tag med nye teglsten. LCA'en følger så vidt muligt anvisninger i henhold til de internationale standarder ISO 14040 og 14044.

Vurderingen tager udgangspunkt i helhedsplan-renoveringen af Lystoftehus, der udgøres af i alt 9 boligblokke, hvor de eksisterende tegltage efter planen udskiftes til nye. Det er hensigten med nærværende LCA at vurdere, om og i hvor høj grad genbrug af de eksisterende tegltagsten medfører besparelser i drivhusgasudledninger.

Vurderingen viser, at mængden af drivhusgasudledninger forbundet med en komplet udskiftning af eksisterende tegltage reduceres med op mod 97 %, når teglstenene genbruges. Besparelspotentialet er ved maksimalt udbytte fundet til knap 14 kg CO₂-ækvivalenter pr. m² tagflade, hvilket svarer til omtrent 50 ton CO₂-ækvivalenter for den samlede bebyggelse i Lystoftehus.

Vurderingen viser også, at resultatet hverken påvirkes synderligt af en ændret spildprocent eller ekstra transport ifm. afrensning af tagsten. Til gengæld påvirkes resultatet mærkbart negativt, såfremt erstatningssten ved spild skal produceres fra ny. Her reduceres den relative besparelse fra 97 % til 78 % ved en spildprocent på 20.

Barriereanalyse

En barriereanalyse er foretaget i samarbejde med arkitekter Søren B. Schächter og Peter Bentzon, der også har forfattet dokumentet.

Analysen baseres på en række interviews af bl.a. Torben Jakobsen, der ejer og driver Tegllageret i Havdrup, nedrivningsfirmaet Søndergaard og murermester Jens Andersen, der har stor erfaring med genbrug af tegltagsten.

I analysen anfægtes den almene praksis, hvor eksisterende tegltagsten i vid udstrækning kasseres uden nogen god grund. Analysen forholder sig til både case-specifikke barrierer omhandlende Lystoftehus og mere generelle, systemiske barrierer. I alt behandles følgende ni barrierer:

- Logistik ved nedrivning/renovering
- Kvalitetssikring og materialecertificering
- Afgifter og incitamenter
- Overfladiske tilstandsrapporter
- LCA Byg-standarden
- Byggeriets værdikæde
- Sourcing af tegltagsten ved bortskaffelse til genbrug
- Vidensdeling og SMV-struktur
- Skalering

Foruden at opridse udfordringerne forbundet med genbrug af tegltagsten er barriereanalysen også et forsøg på at redegøre for potentialer og mulige måder at løse udfordringerne på for på sigt at nedbryde barriererne og fremme genbrugen af tegltagsten og byggematerialer generelt.

Totaløkonomi og LCC-beregning

En LCC-beregning er foretaget i beregningsprogrammet LCC-byg for at vurdere de totaløkonomiske konsekvenser ved genbrug af tegltagsten fremfor at erstatte tagbelægningen med nye tagsten. Her betragtes en periode på 100 år.

Undersøgelsen sammenligner nye tagsten af varierende kvalitet (og anskaffelsespris) med genbrug af eksisterende tagsten med varierende spildprocent i forbindelse med nedtagning og rensning.

Undersøgelsen påviser, at de økonomiske konsekvenser ved genbrug af tegltagsten i Lystoftehus i høj grad afhænger af typen af de tagsten, man sammenligner med. Således vurderes det, at ved en spildprocent på 15 % opnås en besparelse på 5-10 %, såfremt tagstenene genbruges fremfor at de erstattes med tagsten af tilsvarende arkitektonisk kvalitet, hvorimod samme genbrugsscenario fører til meromkostninger på 15-25 %, hvis alternativet er at erstatte tagstenene med tagsten af ringere arkitektonisk kvalitet.

Potentiale for genbrug af tegltagsten

Teknologisk Institut har foretaget undersøgelser af en prøveudtagning af tagsten i Lystoftehus med henblik på at vurdere egnetheden til genbrug, herunder vurdering af spildprocent og restlevetid. I alt er udtaget 50 tagsten, der først er vurderet ved visuel gennemgang. Heraf er 25 stk. analyseret for porefyldningstal og 12 stk. er sendt til genbrænding.

Vurderingen konkluderer, at tagstenene har både skævheder, slirer og begroninger af algevækst, der dog ikke spiller nogen rolle for stenedens holdbarhed, men kun præger stenedens æstetisk.

Desuden er tagstenene understrøget i en sådan grad, at der efter nedtagning er større mørtelepølser på under- og oversidernes false. Som konsekvens af, at tagstenene skal nedtages og renses for mørtel, vurderer Teknologisk Institut et spild på 5 % -20 %.

Stenedene vurderes at være af en høj kvalitet med en forventet restlevetid på 75-125 år.



INDHOLD

- 1: LCA-rapport
- 2: Barriereanalyse
- 3: Totaløkonomi og LCC-beregning
- 4: Potentiale for genbrug af tegltagsten, samt bestemmelse af porefyldningstal



1: LCA-rapport

WISSENBERG

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse	1
1. Resume	2
2. Formål, afgrænsning og kortlægning	3
2.1 Den funktionelle enhed	4
2.2 Produktsystemer.....	4
2.3 Karakterisering.....	7
2.4 Data.....	8
2.5 Kortlægning.....	10
3. Vurdering af miljøpåvirkninger	11
4. Fortolkning	12
4.1 Marginale processer	12

1. Resume

Der er foretaget en komparativ livscyklusvurdering (LCA), hvor miljøpåvirkninger forbundet med oparbejdning af tegltagsten til genbrug sammenlignes med miljøpåvirkninger forbundet med anlæggelse af samme tag med nye teglsten. LCA'en følger så vidt muligt anvisninger i henhold til de internationale standarder ISO 14040 og 14044.

Vurderingen tager udgangspunkt i en helhedsplan-renovering af Lystoftehus, DAB, der udgøres af i alt 9 boligblokke, hvor de eksisterende tegltage efter planen udskiftes til nye. Det er hensigten med nærværende LCA at vurdere, om og i hvor høj grad genbrug af de eksisterende tegltagsten medfører besparelser i drivhusgasudledninger set i et livscyklus-perspektiv.

Der tegnes, foruden et referencescenarie, hvor tegltaget erstattes af et nyt, fire genbrugsscenarier for at undersøge effekten på besparelspotentialet af 1) spildprocenten ved oparbejdning af eksisterende tagsten, 2) transport forbundet med afrensning af tagsten og 3) om erstatningssten ved spild skal produceres fra ny. Generelt for alle scenarier antages det, at kasserede tagsten nedknyttes til vejfyld i anden sammenhæng. Af denne grund udvides ethvert produktsystem, hvor en tagsten genbruges, til at inddrage udvinding og forarbejdning af en tilsvarende mængde grus til vejfyld.

Vurderingen viser, at mængden af drivhusgasudledninger forbundet med en komplet udskiftning af eksisterende tegltage reduceres med op mod 97 %, når teglstenene genbruges. Besparelspotentialet er ved maksimalt udbytte fundet til knap 14 kg CO₂-ækvivalenter pr. m² tagflade, hvilket svarer til omtrent 50 ton CO₂-ækvivalenter for den samlede bebyggelse.

Vurderingen viser også, at resultatet hverken påvirkes synderligt af en ændret spildprocent eller ekstra transport ifm. afrensning af tagsten. Til gengæld påvirkes resultatet mærkbart negativt, såfremt erstatningssten ved spild skal produceres fra ny, hvor den relative besparelse reduceres fra 97 % til 78 % ved en spildprocent på 20.

2. Formål, afgrænsning og kortlægning

I indeværende rapport beskrives en livscyklusvurdering (LCA) så vidt muligt udarbejdet efter anvisningerne i ISO 14040 og 14044. LCA'en har til hensigt at vurdere, hvorvidt der er miljømæssige gevinster forbundet med genbrug af tegltagsten i forbindelse med en omfattende renovering af den DAB-administrerede boligafdeling, Lystoftehuse, i Lyngby-Taarbæk Kommune, hvor i alt 9 boligblokke totalrenoveres.

Undersøgelsen er foranlediget af Realdania, der i første halvdel af 2021 har støttet 13 forskellige undersøgelser under overskriften "Pulje til klimamæssig bæredygtighed i almene boligorganisationers renoveringsprojekter". Undersøgelserne har haft det fælles formål at afsøge potentialer for reduktion af drivhusgasudledninger inden for det område, de undersøger. Indeværende LCA omhandler derfor udelukkende miljøpåvirkninger i form af emissioner til luft, der har drivhuseffekt. Af samme årsag kan LCA'en ikke benyttes til at udlede nogen generel miljømæssig karakteristik eller til at vurdere, om det samlede set er mest miljøvenligt at genbruge tegltagsten frem for at belægge samme tagflade med nye teglsten.

Undersøgelsen er et led i regeringens målsætning for Danmark om at reducere de samlede drivhusgasudledninger og har til formål at føre til reelle besparelser for renoveringen i Lystoftehuse såvel som til at finde generelle metoder for genbrug af tegltagsten, der kan inspirere lignende renoveringsprojekter i almene boligorganisationer.

Indeværende rapport henvender sig først og fremmest til almene boligorganisationer, der har lignende mulighed for at genbruge byggematerialer. Det forventes, at også andre interessenter og politiske beslutningstagere vil finde rapporten relevant, da der i stigende grad er fokus på genbrug af byggematerialer i alle dele af byggebranchen.

Eftersom LCA'en er komparativ, skal det understreges, at ingen producenter af de i rapporten beskrevne processer og produktsystemer offentliggøres, medmindre det er relevant, og informationerne i forvejen er offentligt tilgængelige. Undersøgelsen har i sin natur til hensigt at tage fat om generelle problemstillinger forbundet med genbrug af tegltagsten og har intet ønske om hverken at fremme eller spænde ben for specifikke producenter i branchen.

Undersøgelsen er udført på initiativ fra DAB i et samarbejde mellem projektledelsen af helhedsplanen i Lystoftehuse og totalrådgiverteamet fra Wissenberg A/S. Der er undervejs samarbejdet med Teknologisk Institut, som har vurderet teglstenenes beskaffenhed samt med arkitekt Søren B. Schächter og Peter Bentzon om en sideløbende barriereanalyse, hvor forskellige aktører er blevet interviewet. Heriblandt nævnes Torben Jakobsen, der er ejer af og driver Tegllageret i Havdrup, nedrivningsfirmaet Søndergaard A/S og murermester Jens Andersen, som har stor erfaring med genbrug af tegltagsten.

Indeværende rapport er en del af en samlet leverance, der også indebærer resultatet af barriereanalysen, hvor en række praktiske, arkitektoniske og systemiske barrierer belyses. Desuden vedlægges en totaløkonomisk beregning, der viser de totaløkonomiske konsekvenser forbundet med genbrug af tegltagsten i Lystoftehuse, DAB.

2.1 Den funktionelle enhed

For at kunne sammenligne en ny og en genbrugt tagsten er det nødvendigt at definere den ydelse, tagstenen skal levere. Sammenligningsgrundlaget defineres ud fra en funktionel enhed, der beskriver tagstens funktion, både kvantitativt og kvalitativt i en skalérbar størrelse. Den funktionelle enhed defineres som:

Tagdækning af 1 m² tagflade i 60 år i Lyngby-Taarbæk Kommune, Danmark, med den nødvendige modstandsdygtighed over for relevante ydre klimapåvirkninger såsom regn og vind og integreret byggeteknisk forsvarligt i den resterende tagkonstruktion.

Det understreges her, at den forventede levetid for de to materialer antages at strække sig ud over den i beregningen relevante periode, og at en genbrugt teglsten fuldt ud måler sig med en ny teglsten i opfyldelsen af den funktionelle enhed. Det antages dog, at der ved genbrug af disse tagsten opstår et spild, der i indeværende beregning håndteres som en variabel procentdel af den samlede mængde af eksisterende tagsten.

For en nærmere diskussion af dette henvises til materialeundersøgelsen udført af Teknologisk Institut samt barriereanalysen vedlagt nærværende rapport.

2.2 Produktsystemer

I sammenligningen af nye tegltagsten med genbrugte undersøges betydningen af følgende parametre for det samlede resultat:

- Spildprocent,
- Transport i forbindelse med afrensning,
- Om erstatningstagsten kan skaffes eller nødvendigvis må produceres fra ny.

I undersøgelsen sammenlignes et referencescenarie, hvor eksisterende tegltagsten erstattes med nye, med forskellige genbrugsscenarier, der defineres som følger:

Referencescenarie	Eksisterende tagsten nedtages og knuses til vejfyld i anden sammenhæng. Nye tagsten indkøbes hos en teglproducent.
Genbrugsscenarie 1	Genbrug af tagsten med en spildprocent på 5 %. Tagstene afrenses for mørtel på byggepladsen, og erstatningstagsten indkøbes hos Tegllageret i Havdrup.
Genbrugsscenarie 2	Genbrug af tagsten med en spildprocent på 20 %. Tagstene afrenses for mørtel på byggepladsen, og erstatningstagsten indkøbes hos Tegllageret i Havdrup.

- Genbrugsscenarie 3 Genbrug af tagsten med en spildprocent på 20 %. Stenene køres til Tegllageret i Havdrup efter nedtagning, hvor de afrenses for mørtel, og erstatningstagsten indkøbes ligeledes hos Tegllageret i Havdrup.
- Genbrugsscenarie 4 Genbrug af tagsten med en spildprocent på 20 %. Tagstenene afrenses for mørtel på byggepladsen, og nye erstatningstagsten indkøbes hos en teglproducent.

2.2.2 Systemudvidelse

Gennemgående for undersøgelsen er antagelsen, at eksisterende tagsten, der af forskellige årsager nedknuses, genanvendes som vejfyld i anden sammenhæng. For at godtgøre for denne måde at genanvende teglstenene, udvides ethvert produktsystem, så en genbrugt tegltagsten medfører et behov for at udvinde og forarbejde en tilsvarende mængde grus til vejfyld.

2.2.3 Materiale-flow

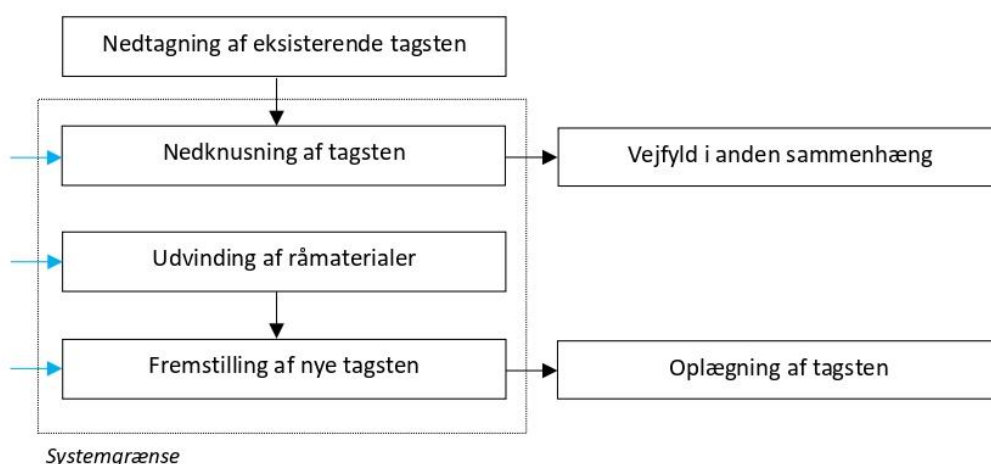
I tabel 1 er materiale-flow for opfyldelse af den funktionelle enhed (reference flow) samt for den samlede bebyggelse i Lystoftehus, DAB angivet.

Tabel 1: Materiale-flow for det samlede produktsystem. Den samlede indlejrede transport er angivet for hver af genbrugsscenarierne samt for referencescenariet. For hvert scenarie er den samlede indlejrede transport angivet i enheden "ton x km". De samlede transportafstande, der er brugt til at beregne den indlejrede transport, er: Nedknusningsanlæg 100 km, Teglværk 360 km og Tegllageret i Havdrup 50 km. Den samlede transportafstand forbundet med udvinding og forarbejdning af grus er sat til 50 km.

Materiale	Reference flow	Samlet flow
Referencescenarie		92.327 tkm
Tagsten til nedknusning	55,0 kg	197,6 ton
Nye tagsten (spildprocent = 2)	56,1 kg	201,6 ton
Genbrugsscenarie 1		11.808 tkm
Tagsten til nedknusning	2,8 kg	9,9 ton
Erstatningssten ved spild	2,8 kg	9,9 ton
Grus til vejfyld	57,5 kg	206,5 ton
Genbrugsscenarie 2		14.624 tkm
Tagsten til nedknusning	11,0 kg	39,5 ton
Erstatningssten ved spild	11,0 kg	39,5 ton
Grus til vejfyld	44,4 kg	173,9 ton
Genbrugsscenarie 3		30.433 tkm
Tagsten til nedknusning	11,0 kg	39,5 ton
Erstatningssten ved spild	11,0 kg	39,5 ton
Ekstern mørtelafrensning	44,0 kg	158,1 ton
Grus til vejfyld	48,4 kg	173,9 ton
Genbrugsscenarie 4		27.160 tkm
Tagsten til nedknusning	11,0 kg	39,5 ton
Nye tagsten som erstatning ved spild	11,2 kg	40,3 ton
Grus til vejfyld	48,4 kg	173,9 ton

2.2.4 Systemgrænser – Referencescenarie

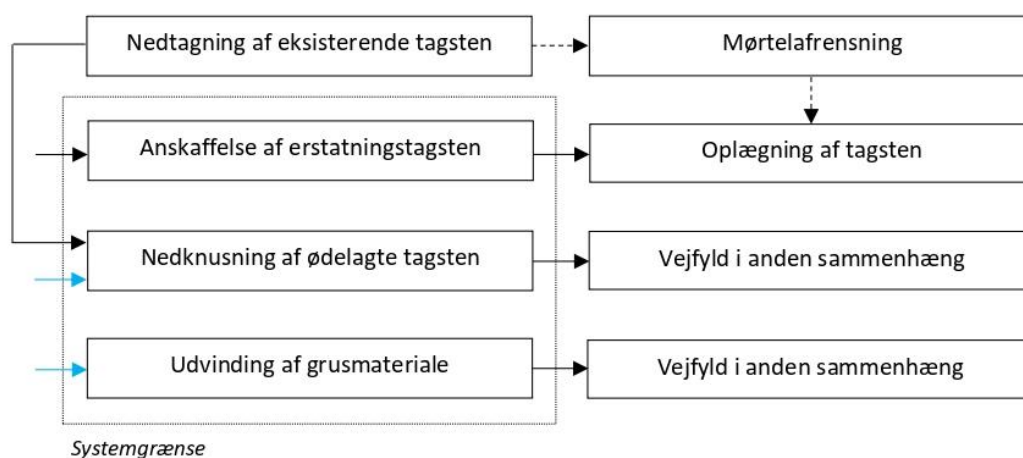
Der medregnes for referencescenariet miljøpåvirkninger forbundet med nedknusning af eksisterende tagsten samt udvinding af råmaterialer og fremstilling af nye tagsten. Der medregnes transport til og fra knuseværk og til og fra teglværk. Der ses bort fra nedtagning og oplægning af tagsten, der ud fra et miljømæssigt perspektiv betragtes som ens på tværs af alle scenarier. I figur 1 er systemgrænsen angivet for referencescenariets produktsystem.



Figur 1: Produktsystem for referencescenarie med angivelse af systemgrænse. Sorte pile angiver materiale-flow og transport, og blå pile angiver energi-input.

2.2.5 Systemgrænser – Genbrugsscenarioer 1 og 2

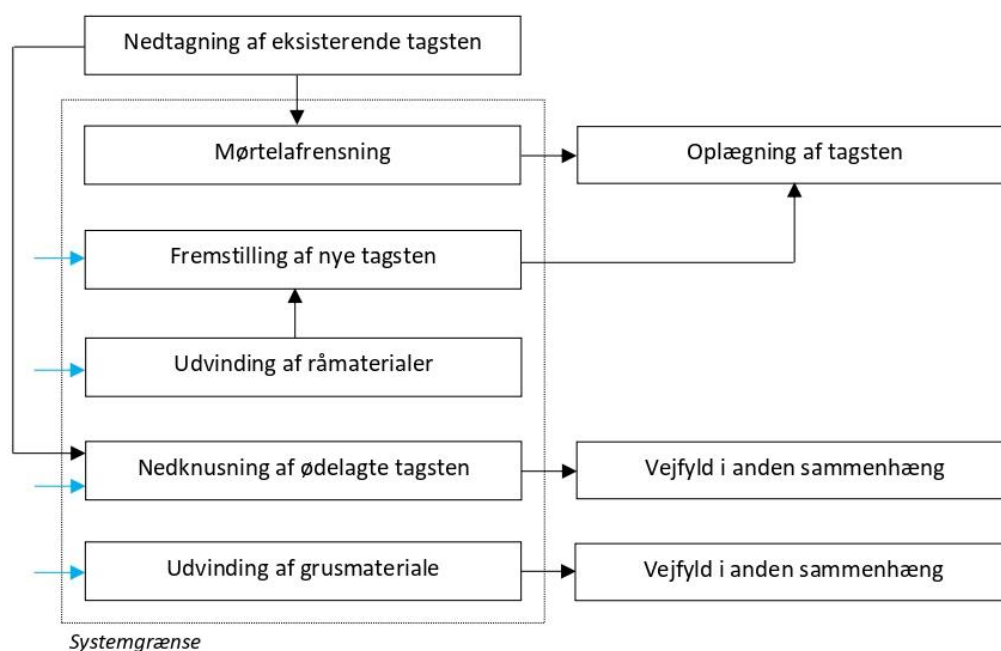
I figur 2 er systemgrænsen angivet for genbrugsscenarioer 1 og 2, hvor spildprocenten varierer mellem 5 % -20 %.



Figur 2: Produktsystem for genbrugsscenarioer med angivelse af systemgrænse. Sorte pile angiver materiale-flow og transport, og blå pile angiver energi-input. For en stiplede linje gælder, at der ikke er nogen indlejret transport.

2.2.6 Systemgrænser – Genbrugsscenarier 3 og 4

I figur 3 er systemgrænsen angivet for genbrugsscenario 3 og 4, hvor off site mørtelafrensning og nye tagsten som erstatning ved spild indgår i det samlede system.



Figur 3: Produktsystem for udvidet scenarie med angivelse af systemgrænse. Sorte pile angiver materiale-flow og transport, og blå pile angiver energi-input.

2.3 Karakterisering

De følgende beregninger omfatter udelukkende miljøpåvirkninger, der bidrager til global opvarmning. Det betyder, at der for enhver proces kun betragtes emissioner til luft i form af drivhusgasser, såsom kuldioxid, metan, flour-gasser etc.

Eftersom drivhusgasser påvirker den globale opvarmning forskelligt, vil det være nødvendigt at omregne mængden af de i produktsystemerne relevante drivhusgasudledninger, så disse kan udtrykkes i den samme enhed. En sådan proces betegnes karakterisering.

I indeværende LCA karakteriseres drivhusgasserne i forhold til kuldioxid, hvorfor enheden "kg CO₂-ækvivalenter" benyttes i den videre beregning. I tabel 2 angives de mest kendte drivhusgassers bidrag til global opvarmning i forhold til bidraget fra kuldioxid (Global Warming Potential).

Tabel 2: Drivhusgassers relative bidrag til global opvarmning i forhold til kuldioxid.¹

Drivhusgas	Kemisk formel	GWP
Kuldioxid	CO₂	1
Metan	CH ₄	21
Lattergas	N ₂ O	310
HFC-23	CHF ₃	11.700
Perflourmetan	CF ₄	6.500
Svovlhexaflourid	SF ₆	23.900

2.4 Data

De processer, der udgør de to tagbelægnings produktsystemer, er i udregningen af de samlede emissioner af drivhusgasser repræsenteret af datasæt. Det er målet, at disse datasæt så vidt muligt repræsenterer de faktiske data fra processerne, som de vil foregå i praksis.

For efterhånden mange produkter er den type data registreret og anført i en miljødeklaration (EPD) for produktet. Direkte data er dog ikke altid tilgængelig, og for langt de fleste produkter og processer findes der ingen EPD. Her vil der i givet fald benyttes andet tilgængeligt miljødata eller generisk data fra den tyske database Ökobau, der i de fleste tilfælde beskriver en gennemsnitlig proces i enten Tyskland eller i Europa. Der kan derfor være væsentlige forskelle mellem den proces, der foregår i praksis, og den proces, hvis data benyttes i beregningen.

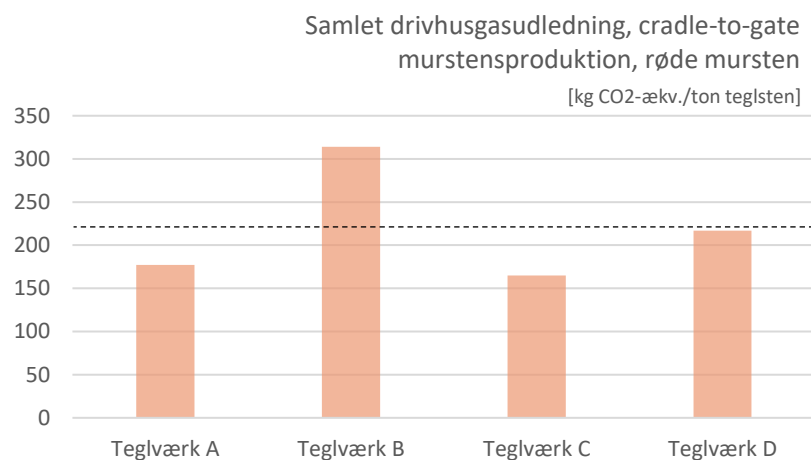
For komparative livscyklusvurderinger foreskriver de internationale standarder (ISO 14040 og 14044), at der benyttes marginale processer for energiproduktion, når to produktsystemer sammenlignes. Dette er hverken muligt med data fra EPD'er eller fra Ökobau, og det har ikke vist sig muligt at indhente oplysninger om nogen processer, der ikke beskriver en gennemsnitlig proces. Der afviges derfor fra internationale standarder på dette punkt.

2.4.1 Produktion af tegltagsten

Der findes ikke tilgængelige miljødata for tagteglstenproduktion i Danmark. Dette er håndteret ved at antage, at miljøpåvirkninger fra produktion af tegltagsten er de samme som miljøpåvirkninger fra produktion af røde mursten.

I EPD Danmarks database er miljødata for produktion af røde mursten offentliggjort for i alt fire danske teglværker. Gennemsnittet af disse antages i denne LCA at repræsentere den gennemsnitlige produktion af tegltagsten i Danmark. I figur 4 er miljøprofilen for fremstilling (cradle-to-gate) af de fire typer røde mursten angivet samt gennemsnitsværdien, der svarer til en drivhusgasudledning af 218 kg CO₂-ækvivalenter pr. ton produceret mursten.

¹ Reference: "Drivhusgasser" – Danmarks Miljøundersøgelser – Aarhus Universitet – 2009.



Figur 4: Den specifikke drivhusgasudledning for murstensproduktion i Danmark. Tallene er offentligt tilgængelige miljødata og stammer fra EPD Danmarks database. Den stiplede linje angiver gennemsnittet.

2.4.2 Nedknusning af tegl og udvinding og forarbejdning af grus

Hverken nedknusning af tegl eller udvinding og forarbejdning af grus er repræsenteret af nutidige miljødata. Hvad angår nedknusning af tegl, er værdien for den dertil hørende udledning af drivhusgasser fundet i en LCA-rapport² udarbejdet for Miljøstyrelsen i 2013 af DTU Miljø omhandlende genbrug af mursten. I rapporten udregnes miljøpåvirkninger ved nedknusning af mursten for nogenlunde samme scenarie og med samme transportafstande som for indeværende case. Der er således belæg for at antage, at miljøpåvirkningerne er repræsentative, om end visse faktorer taler for, at den faktiske miljøpåvirkning ved nedknusning af tegltagsten i dag vil være mindre. LCA-rapporten omhandler nedknusning af mursten, der kan indeholde murbindere, hvorfor sorteringen af det nedknuste tegl vil være mere omfattende end for tagsten. Desuden kan rapporten være forældet i den forstand, at nedknusningen i dag givetvis foregår på en anden måde og med andet maskinel.

For udvinding og forarbejdning af grus anvendes miljødata fra en rapport³ om en samlet miljøvurdering af råstofplanen udarbejdet af Region Hovedstaden i 2012. Her er problemstillingen den samme som for nedknusning af mursten, at de kortlagte miljødata kan være baseret på processer, der i dag potentielt set kan foregå på en anden måde og med andet maskinel.

2.4.3 Datakvalitet

I kvalitetssikringen af de anvendte data benyttes en metode, hvor kvaliteten af data er vurderet på en skala fra 1-5. Her svarer 1 til den bedst tænkelige repræsentation. Udvælgelseskriterierne er: Om produktet, der findes miljødata for, svarer til et lignende produkt, om

² LCA af genbrug af mursten, Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr. 1512, 2013

³ Miljøvurdering af råstofplan, Region Hovedstaden, 2012

den bagvedliggende energiproduktion svarer til den, der gør sig gældende for det faktiske produkt, og om de anvendte data er tidssvarende. Data skal som minimum have karakteren 3 for at kunne indgå i undersøgelsen. I tabel 3 angives kvaliteten af de data, der benyttes i de følgende beregninger.

Tabel 3: Dataoptegnelse med angivelse af datakvalitet.

Proces	Dokumentation	År	Kvalitet
Ny tegltagsten	EPD Danmark database	2018-21	2
Nedknusning af tegl	LCA-rapport – DTU Miljø	2013	3
Grusudvinding	Rapport – Region Hovedstaden	2012	3
Transport	Ökobau – "Truck"	2018	2

2.5 Kortlægning

Det samlede produktsystems miljødata er kortlagt og fremgår af tabel 4.

Tabel 4: Kortlægning af data brugt i den efterfølgende beregning.

Proces	Enhed	Drivhusgasudledning [kg CO ₂ -ækv.]
Ny tegltagsten	ton	2,18E+2
Nedknusning af tegl	ton	4,50E+0
Grusudvinding	ton	2,40E+0
Transport	tkm	8,97E-2

3. Vurdering af miljøpåvirkninger

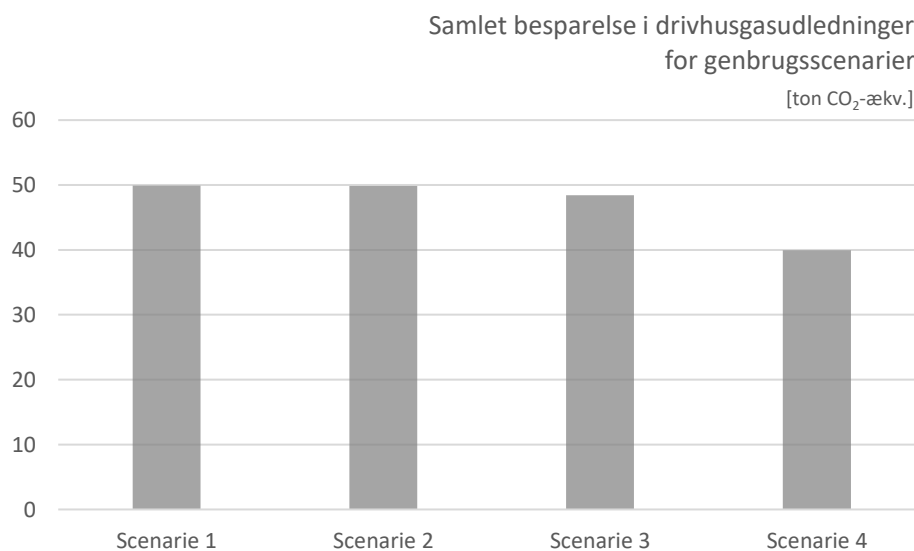
På baggrund af de kortlagte miljødata for det samlede produktsystem er udledninger af drivhusgasser udregnet for hvert enkelt scenarie. I det følgende gennemgås resultaterne.

I tabel 5 angives den specifikke udledning af drivhusgasser iht. den funktionelle enhed og for den samlede bebyggelse i Lystoftehuse, DAB. Resultatet indikerer, at de samlede udledninger af drivhusgasser reduceres betragteligt, når tegltagstenene genbruges frem for at genanvendes som vejfyld.

Tabel 5: Opgørelse over udledning af drivhusgasser for hvert scenarie iht. den funktionelle enhed og den samlede bebyggelse i Lystoftehuse, DAB.

Scenarie	Specifik drivhusgasudledning [kg CO ₂ -ækv./m ² tagflade]	Samlet drivhusgasudledning [kg CO ₂ -ækv.]
Reference	14,31	51.390
Genbrugsscenarie 1	0,42	1.510
Genbrugsscenarie 2	0,43	1.552
Genbrugsscenarie 3	0,83	2.970
Genbrugsscenarie 4	3,20	11.475

I figur 5 er den samlede besparelse i drivhusgasudledninger angivet for hver af de fire genbrugsscenarier. Resultatet indikerer, at genbrug af tegltagsten i Lystoftehuse, DAB kan forventes at medføre en besparelse på omtrent 40-50 ton CO₂-ækvivalenter.



Figur 5: De samlede besparelser af drivhusgasudledning for hvert af de fire genbrugsscenarier.

4. Fortolkning

Det bør understreges, at de udførte beregninger baseres på en række data, der ikke en-til-en afspejler de faktiske processer, som de vil foregå i Lystoftehuse. Selv om datakvaliteten vurderes at være acceptabel, må det forventes, at resultatet vil afvige fra virkeligheden.

Det må alligevel konstateres, at resultaterne indikerer en relativt stor besparelse i drivhusgasudledning, og at produktionen af nye teglsten selvsagt er en langt større bidrager til global opvarmning, end hvis eksisterende tagsten genbruges. Således vurderes den relative besparelse at svare til en reduktion i drivhusgasudledninger på op mod 97 %.

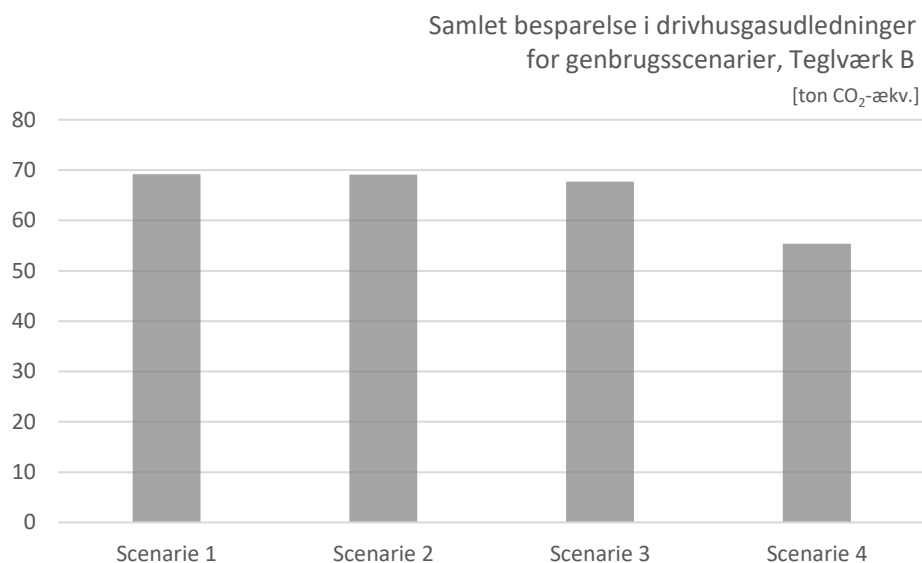
Det er undervejs undersøgt, hvor følsomt resultatet er over for transport ifm. afrensning af eksisterende tagsten samt om erstatningssten ved spild skal produceres fra ny. Hvor førstnævnte ikke ændrer resultatet synderligt, vil sidstnævnte have en mere mærkbar effekt og reducere den relative besparelse fra 97 % til omtrent 78 %.

4.1 Marginale processer

Som skrevet i afsnittet om datakrav, kræver en komparativ livscyklusvurdering, at den bagvedliggende produktion baseres på marginale processer. Da det ikke har vist sig muligt at indhente den form for data, benyttes i stedet for gennemsnitlige data for både teglproduktion, nedknusning af tegl og udvinding og forarbejdning af grus – i strid med de internationale standarder ISO 14040 og 14044.

Selv om det i LCA'en har været hensigten at vurdere et specifikt set-up, hvor tegltagsten genbruges i Lystoftehuse, DAB, må det konkluderes, at beregningen i højere grad omhandler et gennemsnitligt set-up, hvor tegltagsten genbruges i Danmark generelt, og hvor kun transportafstandene knytter sig specifikt til boligafdelingen. Så selv om resultatet kan synes brugbart i den forstand, at besparelspotentialet beretter om et generelt potentiale på landsplan, er det vigtigt at understrege, at der forekommer en ikke helt stringent brug af data, hvorfor resultatet hverken viser et gennemsnitligt eller et case-specifikt set-up.

Det er slutteligt forsøgt at vurdere, hvilken betydning det har for det samlede resultat, hvis data for en gennemsnitlig teglproduktion på tværs af de fire teglværker erstattes af data fra Teglværk B, der har den højeste drivhusgasudledning af de fire teglværker i produktionsfasen. I figur 6 er besparelspotentialet angivet for hvert af de fire genbrugsscenerier, såfremt data fra Teglværk B erstatter den gennemsnitlige data. Resultatet viser, at besparelspotentialet er ganske følsomt over for denne dataudskiftning og medfører en stigning med knap 40 % til 55-69 ton CO₂-ækvivalenter i alt.



Figur 6: De samlede besparelser af drivhusgasudledning for hvert af de fire genbrugsscenarier ved teglproduktion hos Teglværk B.

2: Barriereanalyse

Arkitekt, MAA Søren B. Schächter



Barriereanalyse - Genbrug af tegltagsten i Lystoftehus

Tegnestuen SBS v/ Søren B. Schächter/Peter Bentzon

HVORFOR GENBRUGE TEGLTAGSTEN?

En udskiftning til nye teglsten stiller bygningerne overfor store arkitektmæssige/æstetiske og ressourcemæssige udfordringer mht. opgravning af ler, størrelse af sten, type og farve. Det store forbrug af CO₂ til et nyt tag vækker også bekymring, og det synes at være på tide at forsøge at genbruge tagsten, bl.a. fordi holdbarheden er mindst lige så stor, som ved nye sten, og fordi de genbrugte tagsten har en farve og karakter, man ikke kan opnå med nye sten. Tagstenene er i al byggeri valgt med omhu og kan være svære at erstatte. Det vil derfor være rimeligt at genoverveje fremtidens tagrenoveringer.

Ler er i lighed med olie og gas en ikke-fornybar ressource, som vi følgelig bør passe på og anvende med omtanke, så der også er tilstrækkelige ressourcer at tage af til kommende generationer. "Vi har ikke arvet jorden af vores forældre, men lånt den af vores børn og børnebørn", som det udtrykkes i Brundtland-rapporten allerede i 1987. I vor tid handler FN's verdensmål nr. 12 om ansvarlig brug af naturressourcerne, og også i dét perspektiv, har nærværende case-projekt relevans.

Der har været anvendt ler i Danmark i over tusind år. Ler er tungt at transportere, hvorfor der ikke var langt til byerne fra de ca. 2800 teglværker, der i gamle dage forsynede dansk byggeri med tegl i alle former.

I dag er der ca. 20 teglværker tilbage, og leret bliver hentet flere steder fra, hvilket betyder længere transport, selvom det unægtelig er blevet noget nemmere med de moderne transportmidler. Rovdriften på leret har desværre medført at den gode kvalitetsler for en stor dels vedkommende er opgravet, og det er efterhånden blevet nødvendigt at blande leret, der ankommer til værkerne, med forskellige former for råstoffer, fortrinsvis sand, for at få en blanding, der kan brændes til tegl.

Der er ikke beregninger på de aktuelle ler-ressourcer i Danmark, men Regionerne har i en undersøgelse fra 2017¹ estimeret, at der er mellem 14 – 43 års forbrug tilbage af råstoffer i Danmark i de udlagte graveområder på land (ler, grus, sand m.v.). Det kan vise sig muligt at udvide til nye graveområder, men dette skønnes at være forbundet med store miljøomkostninger.

Der bliver årligt udvundet ca. 36,6 mio. m³ råstoffer i Danmark, og det skønnes, at vi importerer ca. 5 % af råstofferne fra udlandet. Et forsigtigt skøn er, at leret udgør ca. 1 % af den samlede råstof-indvinding, svarende til ca. 366.000 tons/år. Det er på baggrund af dette scenarie, at byggebranchen om ikke så mange generationer risikerer at løbe tør for disse ressourcer.

Der er kolossale mængder energi bundet i hver teglsten. Leret skal graves op, transporteres til teglværk, blandes, formes, sorteres, brændes, sorteres igen og i sidste ende transporteres til byggepladsen.

Danmarks har produceret og oplagt ca. 90 mio. m² tegltage, hvilket løseligt kan omregnes til ca. 1,4 mia. tagsten. Tegltage udgør således en eksorbitant stor binding af CO₂. Hvis man antager, at tegltagsten har samme drivhusgaspotentialer som mursten, er der typisk tale om emissioner af mere end 200 kg CO₂-æquivalenter pr. ton teglsten, der produceres. Med knap 5 mio. ton tegltagsten på de danske tage er der derfor massive mængder indlejret CO₂ i den eksisterende tagbestand, svarende til 980.000 ton CO₂-æquivalenter. På trods af dette åbenlyse klimapotentialer genbruges tagsten ikke. Massive volumener af

¹ Danske Regioner. Videncenter for miljø og ressourcer, 6. juni 2017).

tagsten nedknuses/destrueres hvert år og genanvendes kun i forbindelse med restaurering af bevaringsværdige bygninger og kun i meget små mængder.

DEN ÆSTETISKE UDFORDRING VED IKKE AT GENANVENDE

Mangel på genbrug af tegltagsten skyldes, efter projektgruppens vurdering, at den almindelige holdning blandt entreprenører og bygherrer er, at det ikke er økonomisk attraktivt at genanvende, og derfor bliver stort set samtlige teglsten destrueret/nedknust og ender som opfyld m.v. Nemt, hurtigt og bekvemt. Et nyt tegltag holder bedre, da nyt er godt, syntes mantraet at være i byggebranchen.

Projektgruppen opfatter denne tilgang som i høj grad skadende for dansk bygningskultur og arv, idet alle omhandlede bygninger fra deres fødsel er tegnet og opført med en ganske bestemt teglsten for øje, hvor farve, størrelse og form er en del af arkitekturen. Når der renoveres, vil ydermurene som oftest få lov til at stå i det originale murværk. Det udgøres af mursten der måske langt hen ad vejen er udført i hånden (håndstrøgne), men også andre typer mursten, der i farve og struktur ikke kan skaffes så let i dag.

Med tegltagsten er problematikken den samme; hvordan finder man ny-producerede teglsten, der kan matche et eksisterende muret hus? Farverne er markant anderledes i de nye tegl, og strukturen i tagstenene er langt fra den samme – de såkaldte 'maskinsten' har en død stoflighed, men er billige. Det kræver den allerstørste ekspertise at vælge nye teglsten til ældre bygninger, og risikoen for æstetiske og bygningskulturelle fejlgreb er overhængende, hvis sådanne valg overlades til ejere, entreprenører, bygherrer, rådgivere m.fl. uden arkitektoniske holdninger.

Hvis man derimod bibeholder det eksisterende tag, får man arkitekturen/æstetikken og stofligheden foræret i langt de fleste tilfælde. Erfaringer viser dog også, at der går ca. 5-20 % tagsten til spilde ved genbrug. Dette betyder, at man før renoveringen skal sørge for, at der kan fremskaffes en tilstrækkelig mængde af de eksisterende sten eller andre sten af samme størrelse, farve og struktur. Alternativt kan man vælge at anvende de eksisterende teglsten, hvor taget er mest synligt, og de nye sten, der hvor de er mest skjulte/usynlige.

CASEN I LYSTOFTEHUSE

Lystoftehusene er en almen bebyggelse bestående af ni boligblokke i to etager. Bebyggelsen er tegnet af Viggo Møller Jensen i samarbejde med Kaj Fisker i 1945-46 og opført 1947-49 med Lyngby/Taarbæk Almene Boligselskab som bygherrer.

Det er ikke et kendt byggeri i arkitektkredse, selvom det er tegnet af et par af det 20. århundredes mest fremtrædende arkitekter for så vidt angår dansk boligbyggeri. Blokkene fremstår i dag noget anderledes end den grå farve, byggeriet oprindeligt havde. Facaderne har buede stik over de store vinduer i stuerne i alle facader mod syd, og det vandrette bånd, der skiller etagerne ad, giver dem et lidt udenlandsk præg. Hældningen på tagene er 40 grader og alle tage er afvalmede. Proportionerne er fine, og situationsplanen er ganske charmerende og synes at fungere godt. Blokkene med de store tage giver et harmonisk udtryk i parklignende omgivelser.

Bygningerne fremstår i dag noget nedslidte, hvorfor en større renovering er undervejs. Tagene er i denne forbindelse planlagt kasseret, og der skal indkøbes nye teglsten til alle ni blokke, hvilket efter projektgruppens opfattelse vil være spild af ressourcer.

Det er udførligt beskrevet i de øvrige dokumenter, hvorledes den konkrete business-case i Lystoftehusene ser ud. Lidt forenklet sat op her, er økonomien fornuftigt, og genbrug af tagstenene medfører ikke en

fordyrelse af tagrenoveringen. Snarere tværtimod er genbrug forventelig billigere, såfremt en tilsvarende høj kvalitet ønskes for den fremtidige tagbelægning. Ligeledes er CO₂-besparelsen helt evident, og genbrug reducerer ifølge vores beregninger den samlede drivhusgasudledning med op mod 97 %.

Der er imidlertid en lang række udfordringer forbundet med genbrug af tegltagsten, der både kan knyttes til det specifikke projekt i Lystoftehus og til mere systemiske barrierer, der gør sig gældende for byggeprojekter generelt.

BARRIERE-ANALYSE

I det følgende ses først på case-nære barrierer og bagefter på mere systemiske barrierer. Vi har foretaget følgende inddeling:

Case-nære barrierer

- Logistik ved nedrivning/renovering
- Kvalitetssikring og materialecertificeringer
- Afgifter og incitamenter

Systemiske barrierer

- Overfladiske tilstandsrapporter
- LCA Byg-standarden
- Byggeriets værdikæde – hvem har ansvar for teglstenene ved nedrivning og genbrug?
- Sourcing af tagteglsten ved bortskaffelse til genbrug
- Vidensdeling og SMV-struktur
- Skalering

Case-nær barriere: Logistik ved nedrivning/renovering

Udfordringer

- I dag ses meget stramme og 'lean' just-in-time tidsplaner i byggeprocesserne. Endvidere foregår byggeriet i meget trange byggefelter med mangel på oplagringsplads. Hvis et projekt omfatter en eksisterende bygning på den pågældende grund, skal nedriverne i denne type procesplaner hurtigt ind og hurtigt ud. Og da entreprenøren, der har bestilt nedrivningsopgaven, ikke af egen drift ser på genanvendelsesmulighederne i materialerne, men alene ser på omkostningerne til nedrivningen (se afsnittet om sourcing), har nedriveren oftest intet andet valg end at bortskaffe fremfor at recirkulere.
- Der mangler ofte en mellemstation mellem byggeplads og affaldsstationen, f.eks. hvis tegltagstenene skal renses inden genopsætning. I vores case er en konkret option at fragte stenene ud til rensning hos Tegllageret i Havdrup, der kan stå for salget af de supplerende sten ifm. udskiftningen af defekte tagsten. Den transport er der både økonomi og CO₂-udledning forbundet med.
- Er der fysisk plads, som i Lystoftehus-casen, kan tagstenene dog hejses ned med kran på paller og renses på byggepladsen, hvis 'kompetencen', dvs. kendskabet til hvordan stenene renses inkl. det rette maskineri, ellers er til stede. Et alternativ er at teglstenene renses og sorteres på stilladsafsætter/stilladsflader i taghøjden, men der er ikke udviklet standardpraksisser for sådanne operationer.
- Tidslighed og koordinering mellem bygherre, entreprenør og nedriver.

Potentiale

- Nye udbuds- og licitationsformer ved nedrivning/renovering, hvor bygherren allerede i udbudsmaterialet præsenterer et ressourcekatalog med krav om at hver byggemateriale type ender på den-og-den slutdestination, dvs. i vores idéverden 1) genbruges in situ, 2) sendes til et andet byggeprojekt eller 3) køres til ressourcestation (se senere).

Case-nær barriere: Kvalitetssikring og materialecertificeringer

Udfordringer

- Der findes generelt ikke et stort nok marked for genbrugte byggematerialer. Der findes enkelte operatører, der sælger genbrugs-tegltagsten som Torben Jakobsens Tegllageret i Havdrup på Sjælland, men de videresælges ucertificerede, baseret på tillid og sund fornuft. Når man tager en tegltagsten fra dens oprindelse og bruger den i en ny sammenhæng, følger certificeringen ikke med og tagstenen ses og behandles principielt som et nyt produkt. Som udgangspunkt skal alle byggevarer i EU have en CE-mærkning, men det er en længerevarende, fordyrende proces at opnå disse CE-mærkninger på partierne af genbrugte tegltagsten, hvorfor den ikke foretages.
- Så længe man renoverer et tag og bevarer tagstenene (og nøjes med at udskifte de ca. 5-20 % defekte sten, man normalt finder i renoveringsprojekter), er denne udfordring begrænset, men den bliver markant større i de mere omfattende, voluminøse bygge- og renoveringsprojekter, hvor man skifter mange m² tagsten, uagtet at tagsten er et ret enkelt produkt, der ikke skal besidde isolerende egenskaber el.lign. Hvordan opnår bygherren og investorerne i disse tilfælde sikkerhed for, at alle byggematerialer er kvalitetssikrede ift. holdbarhed, levetid og andre krav?
- Denne udfordring kan også indvirke negativt ift. problematikken med tilstandsrapporterne (gennemgås senere).

Potentiale

- Der skal findes et standardmærkningssystem for genbrug og garantistillelse af kategorier af byggematerialer, som er nemmere at tilgå (billigere og langt mindre tidskrævende) end de eksisterende ordninger. I denne genklassificering skal nye levetidsmål estimeres (se også afsnittet om tilstandsrapporter).

Case-nær barriere: Afgifter og incitamenter

Udfordringer

- Afgifterne og omkostningerne ved at bortskaffe byggemateriale er ikke-eksisterende og giver ikke direkte incitament til at søge efter genanvendelsesmuligheder; andet end til såkaldt downcycling-metoder, hvor eksempelvis tegl knuses og bruges som vejfyld.
- Tegltagsten kan være relativt billige pr. stk. ift. de arbejdslønninger, der medgår i en recirkulation, og dette mismatch i prisforholdet mellem løn og materiale kan medføre, at det bliver billigere blot at bortskaffe dem.

Potentiale

- Der indføres et afgiftssystem for ikke at recirkulere teglsten, baseret på teglens indlejrede CO₂. I praksis stilles nedriver/entreprenør i en ressourcekortlægning overfor den samlede mængde

tegltagsten, og der kalkuleres en afgift for CO₂-indlejrningen ved bortskaffelse og/eller downcycling. Når det dokumenteres, at teglstenene genbruges i et konkret projekt eller er lagt på lager/ressourcestation (se senere), reduceres CO₂-afgiften proportionalt. Med en tilpas høj afgift vil dette, alt andet lige, give incitament til ikke at bortskaffe eller downcycle.

Systemisk barriere: Overfladiske tilstandsrapporter

Udfordring

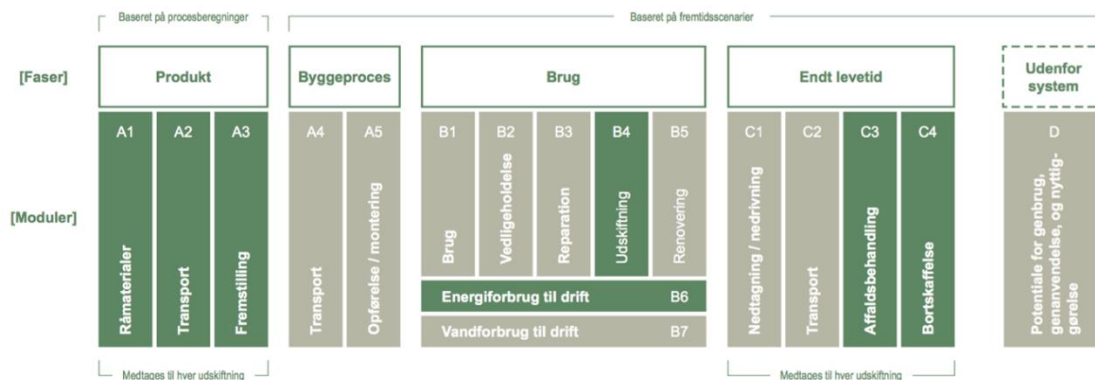
- Ved ejerskifte af enfamiliehus er det normen, at der udarbejdes en tilstandsrapport af en byggesagkyndig. De byggesagkyndige foretager ikke en grundig analyse af ejendommens tag, men skriver samstemmende, at taget i bedste fald kan holde i 10 år eller mere, også fordi forsikringselskaberne, der dækker de byggesagkyndiges ansvar, langt hen ad vejen gør deres indflydelse gældende, når rapporterne udarbejdes. Man kan altså stille spørgsmålstejn ved, om der pågår en reel vurdering af tagenes tilstand inkl. den forventede holdbarhed og levetid. Mange ejere træffer, med udgangspunkt i disse tilstandsrapporter, en beslutning om helt at udskifte taget (inkl. destruering af de gamle teglsten), når nu ejendommen alligevel skal renoveres. Således skaber tilstandsrapporterne grobund for, at der vælges et nyt tag med ny-producerede tagsten.

Potentiale

- Der udvikles nye lovbestemte kriterier for, hvorledes LCA på tagteglsten skal indgå i tilstandsrapporten på valideret og dokumenteret vis. Regeringen har aktuelt tanker om at indføre digitale bygnings- og materialepas, der skal indeholde oplysninger om, hvilke byggevarer der er anvendt i et byggeri, oplysninger om udskiftninger af byggevarer i bygningens levetid gennem renoveringer, samt oplysninger om de enkelte byggevarer. Formålet er at øge mulighederne for genbrug og genanvendelse gennem bedre dokumentation og kendskab til de byggevarer, der anvendes i byggeriet fra opførelse til nedrivning. Tilstandsrapporterne skal relatere sig til og afspejle dette pas.
- I vores case-projekt har Teknologisk Institut undersøgt tagsten fra Lystoftehus og konkluderer, som det fremgår af vedlagte rapport, at teglstenene har en restlevetid på mindst 75 år mere, ja måske endda flere hundrede år, selv om man i dag anser tegltagenes levetid for at være begrænset til en teoretisk alder på 40 – 60 år. Teknologisk Instituts tal i denne case viser, at det måske er tid til at tage et opgør med denne levetidsnorm for tegltagstens-tagene og få en ny norm ind i tilstandsrapporterne.

Systemisk barriere: LCA Byg standarden

Branchevejledningen i LCA ved renovering fra 2017 benytter denne model:



Selvom genopretningsindgrebet (f.eks. en renovering) foretages i bygningens brugsfase, medfører materialeforbruget til renoveringen, at yderligere livscyklusser skal inkluderes i beregningerne. For samtlige de materialer, der bruges i en renovering (B5), vil der knytte sig en produktfase (A1-A4), en brugsfase (B1-B5 med tilhørende genopretning, f.eks. udskiftning) samt en bortskaffelsesfase (C1-C4) - og endelig en eventuel indtræden i et nyt produktsystem (D).

Udfordring

- Fase D indregnes i dag ikke i de danske LCA. I en case hvor man beslutter sig for at bortskaffe tagteglsten, skal man ift. vejledningerne ikke medtage nedrivning og transport i kalkulationen. Tegltagstenene ses som et end-of-life downcyclet produkt (f.eks. vejfyld), og ellers typisk som sendt til forbrænding eller i deponi. I LCA-systemet belønnes man således ikke for at tænke og handle cirkulært, da det vil være i tagstenenes første cyklus, at man indregner al drivhusgasudledning forbundet hermed.

Potentiale

- Indarbejdelse i lovgivning af obligatoriske målinger i fase D i LCA.
- Opbygning af databank, tilpasset danske forhold, så man kan vurdere potentialet for genanvendelse af nedrevne byggematerialer (fase D) i bygge- og renoveringsprojekter, herunder tegltagsten som i denne case.

Systemisk barriere: Byggeriets værdikæde – hvem har ansvar for teglstenene ved nedrivning og genbrug?

De nedenstående betragtninger baserer sig på en i deres egne ord 'stærkt simplificeret' beskrivelse i Lendager og Pedersens "Fyrtårne eller Luftkasteller", København 2020, s. 28. Pointerne er væsentlige i denne sammenhæng.

Udfordring

- Hvis en bygherre ser på andet end pris og enten vil bygge nyt eller renovere bæredygtigt, sender de opgaven til en arkitekt, der tegner et projekt, som skal udføres af en entreprenør. Når entreprenøren påtager sig opgaven, medfølger det komplette ansvar for, at det, der leveres, lever op til krav om budget, tidsplan og bæredygtighedskriterier. Hvad angår tegltagsten bliver problemet ved nybyggeri, at de fornødne genbrugelige tagsten ikke er tilgængelige, genanvendelses-strukturen/systemet findes ikke til at tappe ind i, og derfor er der hverken gængse procedurer eller dokumentations- eller materiale-certificeringssystemer at læne sig op ad. Det bliver dermed et alt for risikofyldt pionerarbejde for en entreprenør at vove sig ud i genbrug af byggematerialer, både målt på tid og penge. Da entreprenøren 'ejer' tagstenene og ansvaret for dem, forekommer det nemmere og billigere at bortskaffe de gamle og indkøbe nye, både planlægningsmæssigt og økonomisk.

Potentiale

- Selv om den ovenstående ansvarsfordelingskæde ved nybyggeri og renovering ikke reformeres, kan der stadig lægges så meget pres på entreprenøransvaret ift. mængden af CO₂ indlejret i materialerne, at business-casen bliver god ift. CO₂-problematikken. Se afsnittet om afgiftssystemet.
- Der kan stilles skærpede krav om materialelegenbrug i alle offentlige udbud.

Systemisk barriere: Sourcing af tegltagsten ved bortskaffelse til genbrug

Her betragtes kun situationer, hvor tegltagsten, der ligger på en bygning, skal rives ned, eller hvor de bortskaffes ifm. en renoveringssag.

Udfordringer

- Der er en grænse for, hvornår tagstenene kan genbruges efter rensning, og hvornår de må downcycles. Her gør en særlig problemstilling sig gældende angående den mørtelblanding, der bruges til understrygning af teglstenene. Indenfor de seneste 20-30 år er der benyttet en mere cementholdig blanding, som er sværere at rense af end den mørtelblanding, der blev benyttet i lidt ældre tider. Der er ydermere brugt miljøgiftige materialer til over- og understrygninger såsom plastfyldninger og lignende. Alt andet lige vil det i de kommende årtier blive vanskeligere at rense teglstenene, medmindre der kan innoveres nye metoder til rensning.
- Det samlede volumen af tagsten der fragtes bort til sikring af en rentabel enhedspris efter kalkulation af transport og lagerplads m.m.
- Tilgængeligheden, altså at der i nedrivnings- eller renoveringsplanen kan afsættes tid til den konkrete indhøstning af tegltagsten.
- Validering af kvalitet, altså at aftagerne har tillid til kvalitet og holdbarhed af tegltagstenene i genbrugsøjemed (se også afsnittet om kvalitetssikring og materialecertificering).

Potentiale

- At der i alle nedrivnings- og renoveringsentrepriser indgår en ressourcefortegnelse, hvorefter nedriver eller entreprenør forud for bygge/nedrivningsstart forpligter sig til en bindende plan for bortskaffelsen eller genbrugen af tegltagsten. Ressourcefortegnelsen angiver også materialernes oprindelige kvalitetsmærkning og certificering, som man herefter relativt simpelt kan supplere og opdatere i en genbrugssituation.

Systemisk barriere: Vidensdeling og SMV-struktur*Udfordringer*

- Der findes iflg. Danmarks Statistik ca. 1,2 mio. enfamiliehuse i Danmark i form af parcel-, række- og kædehuse. Når der skal renoveres tag på disse, er det ofte mindre murer- og tømrervirksomheder, der får opgaven. Manglende viden, miljøbevidsthed og engagement på begge sider gør, at mange boligejere i opgavedialogerne med denne type af virksomhed ofte overbevises om, at det er bedre (billigere, lettere, mere driftssikkert) at udskifte tegltaget frem for at genbruge de eksisterende sten.

Potentiale

- Skalering (se afsnittet nedenfor). Lykkes det at etablere landsdækkende ressourcestationer, vil der i kølvandet på en sådan proces også blive gennemført en omfattende markedsføring og vidensdeling i branchen, ikke kun blandt professionelle bygherrer og entreprenører, men også blandt private boligejere og SMV'er. Med fysiske ressourcestationer kan der etableres en struktur for korresponderende videns- og informationscentre om bæredygtig omstilling i byggeriet; både i det små og på den store skala.

Systemisk barriere: Skalering

Udfordringer

- Hvis alle æstetiske og praktiske materialebehov skal kunne imødekommes ved brug af genanvendelige materialer, forudsætter dette en bredde i udvalg og sortiment og en sikkerhed for volumener, som markedet ikke kan dække i dag.
- En nøgle til øget grad af genbrug af byggematerialer lader til at være at få løsningerne og systemerne skaleret op. Hvis vi alene ser på tegltagsten, vurderer Torben Jakobsen, der har ca. 1 mio. tegltagsten på lager hos Tegllageret i Havdrup, at det vil kræve en startkapital på op til 200 mio. kr. og op til 10 års indkøring at etablere et privat, rentabelt landsdækkende system af ressourcestationer for tagtegl (og andre materialer, dvs. mursten, vinduer, træ, fliser osv. osv.).
- Den privatfinansierede forretningsmodel ift. opskalering er ikke fundet endnu af alle de grunde, der er peget på. Den kræver risikovillig startkapital - og fysisk plads.

Potentiale (dvs. en idé)

- Etablering af "Byggeriets Ressourcestationer" forudsætter formentlig, at alle de førnævnte barrierer slås ned! Men ellers omhandler idéen professionalisering og centralisering, gerne en monopolisering, således at der etableres et netværk af disse materialestationer med en tilhørende database over tilgængelige materialer. I casen med tegltagsten skulle det være sådan, at der etableres en central digital lagerfortegnelse over samtlige lagerførte genbrugelige teglsten: Fotodokumentation, mængder, oprindelse/historik, kvalitet/stand og hvilke ressourcestationer, de befinder sig på. Tegltagstenene kan herefter indkøbes både til nybyg og renovering.
- For at modgå det uhensigtsmæssige i monopoler, skal "Byggeriets Ressourcestationer" ejes af en lang række af byggeriets aktører, enten i aktieselskab, i et andelselskab eller lignende. Dannede man det som et OPP kunne disse ressourcestationer kobles til uddannelsessystemet, f.eks. tekniske skoler. Startkapitalen og inkubationsstøtten skal komme bredt fra: Byggesektoren, fonde, offentlige etableringstilskud, EU m.m.
- Vi er klar over, at der allerede er forskellige tilløb i gang, f.eks. Circle Bank Projekt, markedsportaler for genbrug m.m. Det er tid til at tage ambitiøse skridt på området!

EN NATIONAL STRATEGI?

I arbejdet med case-projektet i Lystoftehuse er vi på baggrund af en dialog med både Torben Jakobsen (Tegllageret), murermester Jens Andersen og Søndergaard Nedrivning (adm. direktør Mads Søndergaard) kommet frem til, at den måske største barriere ift. effektiv genbrug af tegltagsten er skaleringsspørgsmålet, forstået som konkret nærhed/tilgængelighed til og volumen af genbrugelige tegltagsten, der står til rådighed for den enkelte byggeplads.

Politisk begynder det også at trække i retning af, at der er behov for initiativer ift. genbrug af byggematerialer. I Miljøministeriets "Handlingsplan for cirkulær økonomi. National plan for forebyggelse og håndtering af affald 2020-2032" nævnes at det, for at skabe en bæredygtig bygningsmasse, er nødvendigt at have fokus på alle faser af byggeriets livscyklus – fra materialevalg, design og produktion, til anlæg og anvendelsen af bygningen, vedligeholdelse, renovering og i sidste ende nedrivning. For at reducere miljøbelastningen fra byggeri og nedrivning vil regeringen blandt flere initiativer:

- Udarbejde en Strategi for bæredygtigt byggeri.
- Udarbejde modeller for et standardiseret bygningspas.
- Indføre krav om standardiserede nedrivningsplaner (og dermed hvorledes udbud af nedrivning og renovering udformes).

Sideløbende med dette publicerede Indenrigs- og Boligministeriet i april 2021 ”*National Strategi for Bæredygtigt Byggeri*” om indholdet i den politiske aftale om den grønne omstilling af bygge- og anlægssektoren. Der er blandt mange andre nævnt tre indsatsområder, der særligt peger direkte ind i vores case-projekt:

1) Formidlings- og analyseindsats

Der skal udarbejdes ’best practice cases’ for byggerier med genbrugte og genanvendte byggematerialer, der går i dybden med anvendelse, fremskaffelse og bearbejdning af genbrugsmaterialer i byggerier, dokumentation af genbrugsmaterialer og myndighedsgodkendelse, samt sundhed og sikkerhed ved anvendelse af byggematerialerne og forventet holdbarhed. Udvikling af forretningsmodeller indgår i indsatsen. Der skal udarbejdes vejledninger om konkrete muligheder for genbrug samt understøttende analyse af muligheder for øget genbrug af bestemte materialer og testmetoder af genbrugsmaterialer.

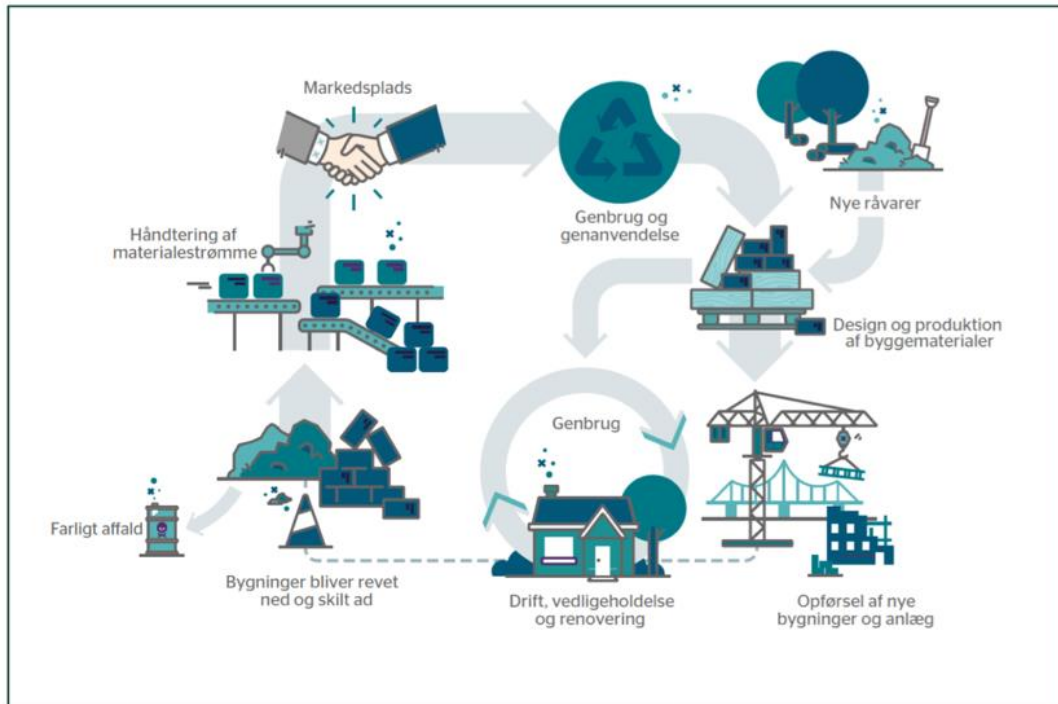
2) Udvikling af bygnings- og materialepas

Digitale bygnings- og materialepas skal indeholde oplysninger om, hvilke byggevarer der er anvendt i et byggeri, oplysninger om udskiftninger af byggevarer i bygningens levetid gennem renoveringer, samt oplysninger om de enkelte byggevarer. Formålet er at øge mulighederne for genbrug og genanvendelse gennem bedre dokumentation og kendskab til de byggevarer, der anvendes i byggeriet fra opførelse til nedrivning.

3) Branchesamarbejde om barrierer, løsninger og videndeling

Der skal etableres et bredt samarbejde med interessenter fra bygge- og nedrivningssektoren, herunder de offentlige myndigheder, om fremme af cirkulær økonomi i byggeriet. Branchesamarbejdet skal være med til at afdække, hvilke barrierer de forskellige led oplever i forbindelse med genbrug og genanvendelse i byggeriet, og hvordan barriererne bedst muligt adresseres.

I Miljøministeriets handlingsplan vises denne model for cirkulær økonomi i bygge- og anlægssektoren:



Her skal opmærksomheden, som afrunding af denne barriereanalyse, rettes mod figurens 'markedsplads' for genvendelige bygningsmaterialer, da den ikke findes i tilstrækkeligt udbygget form i Danmark i dag.

Projektet i Lystoftehuset ift. Danmarks nationale bygge- og anlægsstrategier

1) Formidlings- og analyseindsats

Resultaterne og overvejelserne i vores case-projekt kan indgå som bidrag i den samlede formidlings- og analyseindsats.

2) Udvikling af bygnings- og materialepas

Vores interviews, analyser og drøftelser peger entydigt på, at bygnings- og materialepas vil være et fundamentalt vigtigt værktøj ift. at øge genanvendelsesgraden af byggematerialer i den danske bygge- og anlægssektor. Det vil kunne styrke LCA- og LCC-analyserne, benyttes til incitamentsstyring vha. CO₂-afgifter samt som udgangspunkt for kvalitetssikring og materialecertificering.

3) Branchesamarbejde om barrierer, løsninger og videndeling

På ryggen af vores case-projekt foreslår vi, at der nedsættes en sektor-tværgående arbejdsgruppe, der undersøger potentialet i at etablere byggemateriale-ressourcestationer i Danmark, herunder samler op på de allerede eksisterende tilløb og initiativer.



3: Totaløkonomi og LCC-beregning

WISSENBERG

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse.....	1
1 Forudsætninger	2
2 Kalkulation af anskaffelsessum.....	2
3 LCC-beregning.....	2
4 Konklusion.....	3

1 Forudsætninger

Den udførte LCC-beregning omfatter alene udgifter vedrørende selve teglstenene uanset om løsningen er genbrug af eksisterende eller udskiftning til nye tegl: Nedtagning, rensning/bortkørsel/deponering, levering af genbrugstegl/nye tegl og oplægning. Alle øvrige udgifter i forbindelse med tagrenoveringen er ikke medregnet, men forudsættes i øvrigt at være ens, uanset om der anvendes genbrugte eller nye tagsten.

Beregninger er foretaget for en enkelt af blokkene 1-3.

Øvrige forudsætninger, mængdeopgørelser og anvendte enhedspriser fremgår af bilaget *"Forudsætninger til totaløkonomiberegning"*.

2 Kalkulation af anskaffelsessum

Priskalkulation af de enkelte løsninger fremgår af bilaget *"Priskalk – tegludskiftning"* – udarbejdet med udgangspunkt i Molio Prisdata, justeret i forhold til de anvendte enhedspriser for de enkelte løsningsalternativer.

For udskiftning til nye falstagsten er udført kalkulation af 3 forskellige tegltyper (modeller):

- "Konventionel", som er en relativ billig og derfor også ofte anvendt type i forbindelse med udskiftninger. I forhold til den oprindelige types ca. 16 sten pr. m², anvendes her kun ca. 10 sten pr. m², hvilket også medfører en mindre arbejds løn i forbindelse med oplægningen, men som også medfører, at taget arkitektonisk får et væsentligt anderledes udtryk.
- "Tilsvarende", som bedst svarer til den oprindelig anvendte type med ca. 16 sten pr. m², men som også er væsentlig dyrere i både indkøb og oplægning.
- "Nyt alternativ", som er en ny type, som Randers Tegl oplyser, vil blive markedsført fra 2022 med ca. 13,5 sten pr. m² og som bliver billigere end den ovenfor nævnte "konventionelle" type, hvilket dog må forventes at ville blive opvejet af en noget højere oplægningsudgift pga. det større stenantal pr. m².

For genbrug af eksisterende falstagsten er udført kalkulation for henholdsvis 10, 15 og 20 % spild (nødvendig kassation) af de eksisterende tegl og hvor disse derfor må erstattes af tilsvarende indkøbte genbrugstagsten.

3 LCC-beregning

Den udførte totaløkonomiberegning er foretaget ved hjælp af beregningsprogrammet LCCbyg, udviklet af SBI/Aalborg Universitet. Udskriften herfra er vist i bilaget *"LCC-Rapport Genbrug af tegltagsten"*

Anskaffelsessummen for de enkelte alternativer i indsat iht. ovennævnte kalkulation. Vedligehold er sat til samme vurderede beløb for de 3 beregninger af udskiftninger til nye tegltyper (LCCbyg regner automatisk med 1% af anskaffelsessummen pr. år, hvilket ikke rigtig giver nogen mening i denne sammenhæng); mens vedligeholdsudgiften ved genbrugsberegningerne konservativt er sat 20% højere. Det er valgt at bibeholde LCCbyg's normale

levetidsforudsætning med udskiftning efter 60 år og en udskiftningspris på 125% af den oprindelige anskaffelsestotal. Endelig er beregningen udført med en horisont på 100 år.

De eksisterende tagsten er ca. 52 år gamle og som det fremgår af TI's undersøgelsesrapport for de eksisterende tagsten i Lystoftehus er levetiden for teglsten, der er oplagt korrekt, 125 år eller mere realistisk. TI har vurderet på grundlag af de udførte analyser, at restlevetiden for teglstenene på Lystoftehus er 75 til 125 år.

4 **Konklusion**

Som det fremgår af den udførte LCC-beregning, er de enkelte "alternativer" sig totaløkonomisk nogenlunde konstant til hinanden over tid, hvilket naturligvis skyldes, at udgiften til årligt vedligehold er den samme for henholdsvis udskiftningsalternativerne og genbrugsalternativerne. Det økonomiske grundlag for valg af løsning kan derfor træffes alene ud fra prisvurderingen af anskaffelsesudgiften for de enkelte alternativer.

Økonomisk er alle genbrugsalternativerne økonomisk attraktive i forhold til udskiftning med nye tegl med *tilsvarende* arkitektonisk kvalitet (ca. 16 sten pr. m²) som de oprindelige tagsten. Med et realistisk vurderet spild på ca. 15 % opnås en økonomisk besparelse på 5-10 % i forhold til udskiftning med nye tegl.

Vælges derimod den billigere *konventionelle* tagsten (ca. 10 sten pr. m²), vil genbrugs løsningen ved 15 % spild medføre en merudgift på ca. 25 % i forhold til udskiftning med nye tegl – og vælges den nye *alternative* teglsten (ca. 13,5 sten pr. m²), vil genbrugs løsningen tilsvarende medføre en merudgift på ca. 15 %.

Hvorvidt genbrug af de eksisterende tagsten er økonomisk attraktiv eller ej i forhold til udskiftning til nye tegl, afhænger således alene af det arkitektoniske valg af de nye tagsten ved udskiftnings løsningen.

Generelle forudsætninger

- Tagkonstruktionerne skal ændres i forbindelse med renoveringen: Isolering af tagfladen under nyt fast undertag, ændring af tagfod pga. øget facadetykkelse, opretning af tagflader.
 Alt andet end udskiftningen/genanvendelsen af selve tegltagstenene er derfor ens uanset det valgte alternativ, hvorfor totaløkonomiberegningen er begrænset til kun at omfatte udgifter i forbindelse med teglstenene.
- Der ses bort fra tagkviste over opgange og udvidelsen af tagfladens areal efter renoveringen.
- Prisberegningen har taget udgangspunkt i Molio-Prisdata, Renovering - suppleret med enhedspriser oplyst af Tegllageret/Jakobsen Tegl og muremester Jens Andersen samt leverandørpriser ("arkitektpriser") oplyst af Randers Tegl.
- Beregningen er foretaget på én af blokkene 1-3.

Den eksisterende tagflades geometri (Blok 1-3 målt på opr. tegning)

Taglængde	$L =$	29,60 m			
Rygningslængde	$L_R =$	18,90 m	$T_R =$	57 tegl => $t_R =$	3,02 telg _R /m
Tagbredde	$B = L - L_R =$	10,70 m	$T_V =$	54 tegl => $t_V =$	5,05 telg _V /m
Højde (lodret)	$H =$	4,10 m			
Taghældning	$V = \arctan(H/\frac{1}{2}B) =$	37,5 °			
Skrå tagflade	$S = \text{sqr}((\frac{1}{2}B)^2 + H^2) =$	6,74 m	$T_L =$	21 tegl => $t_L =$	3,12 telg _L /m
Samlet tagareal	$A_{\text{tag}} = 2 \times L \times S =$	399 m ²		$t = t_L * t_V =$	15,7 tegl/m ²
Samlet antal tegl	$T = A_{\text{tag}} * t =$	6274 tegl			
Gratlængde	$G = \text{sqr}(2 \times (\frac{1}{2}B)^2 + H^2) =$	8,61 m	$T_G =$	25 tegl => $t_G =$	2,91 telg _G /m
Samlet gratlængde	$4 \times G =$	34,42 m			
Rygningstegl i alt	$T_R + 4 \times T_G =$	53,32 m		157 tegl	
Skårne tegl langs grater	$4 \times T_V =$	216 tegl	=>	3,44%	
(én pr. lodret række - bortståret ~50%)					
Hele tegl		6166 tegl	=>	392 m ²	
Brutto inkl. skårne		6382 tegl	=>	406 m ²	
Vægt (bortkørsel)	3,5 kg/tegl inkl. mørtel	22,5 ton			

Udskiftning til nye tegltagsten.

Der beregnes på 3 falstagstens modeller:

- Konventionel tegl (ca. 10 sten/m²)
 - Laumans Tiefasupra Variabel Pris leveret iht Randers Tegl 120 kr/m²
- Nye tegl med tilsvarende geometri som eksisterende (ca. 16 sten/m²)
 - Højslev Lille Model Hillerød RT825 Pris leveret iht Randers Tegl 185 kr/m²
- Nyt alternativ - til levering i 2022 (ca. 13,5 sten/m²)
 - Rød Højslev Model Scandinavia Pris leveret iht Randers Tegl 105 kr/m²

Genbrug af eksisterende tegltagsten

Nedtagning (5% spild)	399 m ²	á		70,00 kr/m ²	
Rensning /stabl. på paller (+5%/+10%/+15% spild)	373 m ²	á		100,00 kr/m ²	
<u>Hele tegl til genbrug ved i alt 10% spild</u>	353 m ²	=>	5.549 tegl		
Erstatningstegl (genbrug)	53 m ²	<=	833 tegl á	20 kr/stk	314,47 kr/m ²
Bortkørsel 3,5 kg/tegl inkl. mørtel	3,1 ton				
<u>Hele tegl til genbrug ved i alt 15% spild</u>	333 m ²	=>	5.241 tegl		
Erstatningstegl (genbrug)	73 m ²	<=	1.141 tegl á	20 kr/stk	314,47 kr/m ²
Bortkørsel 3,5 kg/tegl inkl. mørtel	4,2 ton				
<u>Hele tegl til genbrug ved i alt 15% spild</u>	314 m ²	=>	4.933 tegl		
Erstatningstegl (genbrug)	92 m ²	<=	1.449 tegl á	20 kr/stk	314,47 kr/m ²
Bortkørsel 3,5 kg/tegl inkl. mørtel	5,2 ton				
Rygningstegl (genbrug)			157 tegl á	100 kr/stk	300 kr/lbm

Projekt:	COVID-19-indsats – Sammen om bæredygtigt byggeri: PRJ-2020-00414 Lystoftehuse Genbrug af tegtagsten	Beregnet af:	IP	Side:	
		Dato:	2021-09-15	Sag nr.:	w20187
Sag:	Lystoftehuse, helhedsplan	Prisniveau:	2021	Kontrol:	

Pos.	Prisnr.	Beskrivelse	Enhed	Mængde	à kr.	I alt kr.
1	Tilsvarende	NYE TEGL - Højslev Lille RT825	m2	1,0	185,00	
2	(47)10.05,01	Tagsten af tegl, nedtage	m2	399,0	64,01	25.540
3	(86)81.60,01	Affaldscontainer, levering og afhentning	stk	3,0	1.596,13	4.788
4	(86)81.60,02	Affaldscontainer, leje pr. dag	stk	6,0	37,81	227
5	(86)81.78,01	Tegl/mursten, aflevere på modtageanlæg	ton	22,5	205,92	4.633
6	(47)12.05,xx	Røde falstagsten Højslev Lille - 16 stk/m2	m2	406,0	342,10	138.894
7	(47)12.05,xx	Rygning til røde falstagsten, Højslev	lbm	53,5	527,91	28.243
8		I alt kr. ekskl. moms				202.326
9						
10	Konventionel	NYE TEGL - Laumans Tiefasupra RT714	m2	1,0	120,00	
11	(47)10.05,01	Tagsten af tegl, nedtage	m2	399,0	64,01	25.540
12	(86)81.60,01	Affaldscontainer, levering og afhentning	stk	3,0	1.596,13	4.788
13	(86)81.60,02	Affaldscontainer, leje pr. dag	stk	6,0	37,81	227
14	(86)81.78,01	Tegl/mursten, aflevere på modtageanlæg	ton	22,5	205,92	4.633
15	(47)12.05,xx	Røde falstagsten Laumans - 10,2 stk/m2	m2	406,0	220,15	89.382
16	(47)12.05,xx	Rygning til røde falstagsten, Laumans (?)	lbm	53,5	508,71	27.216
17		I alt kr. ekskl. moms				151.787
9						
10	Nyt alternativ	NYE TEGL - Højslev Scandinavia	m2	1,0	105,00	
11	(47)10.05,01	Tagsten af tegl, nedtage	m2	399,0	64,01	25.540
12	(86)81.60,01	Affaldscontainer, levering og afhentning	stk	3,0	1.596,13	4.788
13	(86)81.60,02	Affaldscontainer, leje pr. dag	stk	6,0	37,81	227
14	(86)81.78,01	Tegl/mursten, aflevere på modtageanlæg	ton	22,5	205,92	4.633
15	(47)12.05,xx	Røde falstagsten Laumans - 10,2 stk/m2	m2	406,0	237,56	96.448
16	(47)12.05,xx	Rygning til røde falstagsten, Laumans (?)	lbm	53,5	527,91	28.243
17		I alt kr. ekskl. moms				159.879
18						

Projekt:	COVID-19-indsats – Sammen om bæredygtigt byggeri: PRJ-2020-00414 Lystoftehus Genbrug at tegltagsten	Beregnet af:	IP	Side:	
		Dato:	2021-09-15	Sag nr.:	w20187
Sag:	Lystoftehus, helhedsplan	Prisniveau:	2021	Kontrol:	

Pos.	Prisnr.	Beskrivelse	Enhed	Mængde	à kr.	I alt kr.
19	10% spild	GENBRUGTE TEGL - 5% spild ved nedtagning 5% spild ved afrensning				
20		Nedtagning	m2	399,0	70,00	27.930
21		Rensning og stabling på paller	m2	373,0	100,00	37.300
22	(86)81.60,01	Affaldscontainer, levering og afhentning	stk	1,0	1.803,61	1.804
23	(86)81.60,02	Affaldscontainer, leje pr. dag	stk	2,0	42,38	85
24	(86)81.78,01	Tegl/mursten, aflevere på modtageanlæg	ton	3,1	205,92	638
25	(47)12.05,12	Eksist. genbrugte teglsten	m2	353,0	157,10	55.458
26	(47)12.05,12	Nye genbrugte teglsten	m2	53,0	471,57	24.993
27	(47)12.05,24	Nye genbrugte rygningsssten	lbm	53,5	587,91	31.453
28		I alt kr. ekskl. moms				179.661
29						
30	15% spild	GENBRUGTE TEGL: 5% spild ved nedtagning 10% spild ved afrensning				
31		Nedtagning	m2	399,0	70,00	27.930
32		Rensning og stabling på paller	m2	373,0	100,00	37.300
33	(86)81.60,01	Affaldscontainer, levering og afhentning	stk	1,0	1.803,61	1.804
34	(86)81.60,02	Affaldscontainer, leje pr. dag	stk	2,0	42,38	85
35	(86)81.78,01	Tegl/mursten, aflevere på modtageanlæg	ton	4,2	205,92	865
36	(47)12.05,12	Eksist. genbrugte teglsten	m2	333,0	157,10	52.315
37	(47)12.05,12	Nye genbrugte teglsten	m2	73,0	471,57	34.425
38	(47)12.05,24	Nye genbrugte rygningsssten	lbm	53,5	587,91	31.453
39		I alt kr. ekskl. moms				186.177
40						
41	20% spild	GENBRUGTE TEGL: 5% spild ved nedtagning 15% spild ved afrensning				
42		Nedtagning	m2	399,0	70,00	27.930
43		Rensning og stabling på paller	m2	373,0	100,00	37.300
44	(86)81.60,01	Affaldscontainer, levering og afhentning	stk	1,0	1.803,61	1.804
45	(86)81.60,02	Affaldscontainer, leje pr. dag	stk	2,0	42,38	85
46	(86)81.78,01	Tegl/mursten, aflevere på modtageanlæg	ton	5,2	205,92	1.071
47	(47)12.05,12	Eksist. genbrugte teglsten	m2	314,0	157,10	49.330
48	(47)12.05,12	Nye genbrugte teglsten	m2	92,0	471,57	43.385
49	(47)12.05,24	Nye genbrugte rygningsssten	lbm	53,5	587,91	31.453
50		I alt kr. ekskl. moms				192.358



COVID-19-indsats – Sammen om bæredygtigt byggeri: PRJ-2020-00414 Lystofehuse Genbrug at tegltagsten

Wissenberg A/S - Iver Pedersen

Hovedposter og nutidsværdi for hvert alternativ

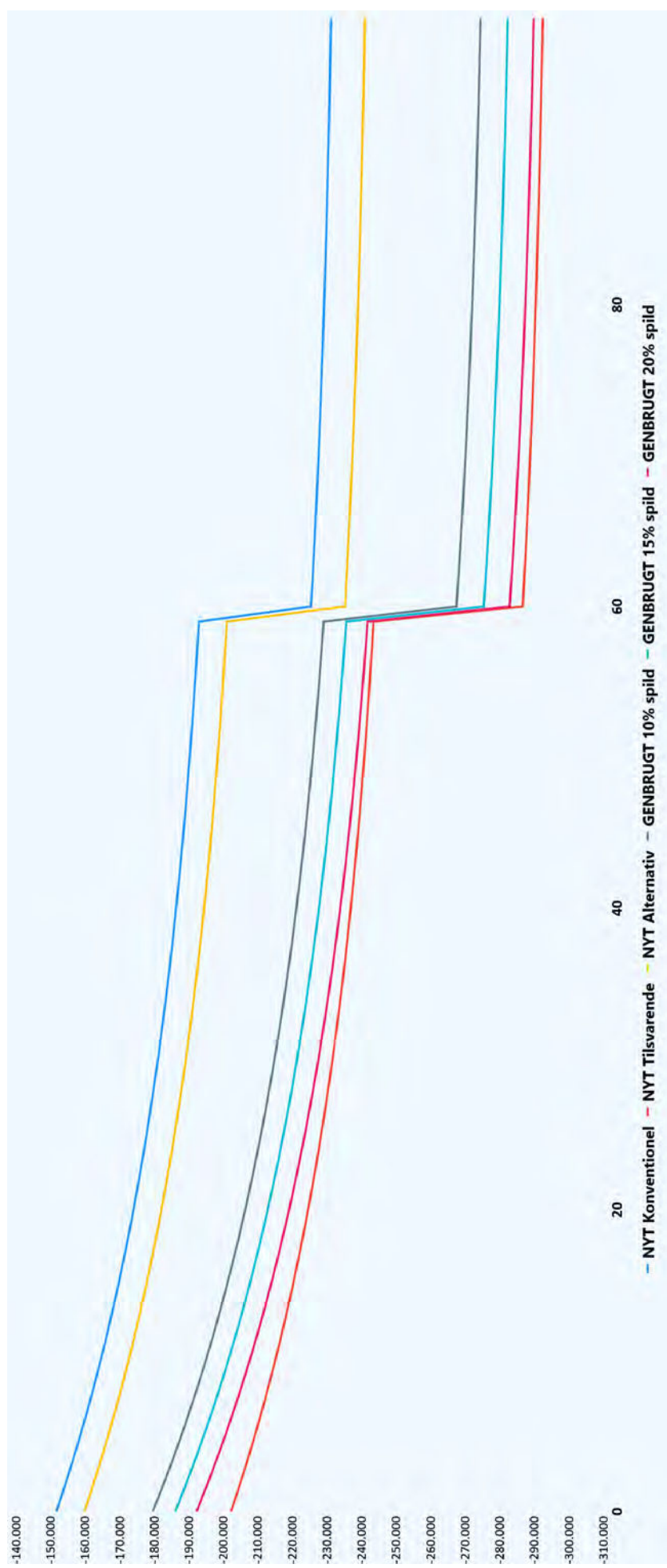
Navn	NYT Konventionel	NYT Tilsvarende	NYT Alternativ	GENBRUGT 10% spild	GENBRUGT 15% spild	GENBRUGT 20% spild
Anskaffelse	-151.786	-202.325	-159.879	-179.661	-186.177	-192.358
Engangsudgift						
Vedligehold	-47.398	-47.398	-47.398	-56.878	-56.878	-56.878
Udskiftning	-32.204	-42.927	-33.921	-38.118	-39.500	-40.812
Forvaltning						
Forsyning						
Renhold						
Løbende indtægt						
Engangsindegt						
Nutidsværdi uden restværdi	-231.388	-292.650	-241.198	-274.657	-282.556	-290.048
Restværdi	2.633	3.509	2.773	3.116	3.229	3.336
Nutidsværdi	-228.756	-289.141	-238.425	-271.541	-279.326	-286.712

Årsmkostning for hvert alternativ opgjort som annuitet per år

Navn	NYT Konventionel	NYT Tilsvarende	NYT Alternativ	GENBRUGT 10% spild	GENBRUGT 15% spild	GENBRUGT 20% spild
Årsmkostning	-7.239	-9.150	-7.545	-8.593	-8.840	-9.073
Årsmkostning uden restværdi	-7.323	-9.261	-7.633	-8.692	-8.942	-9.179



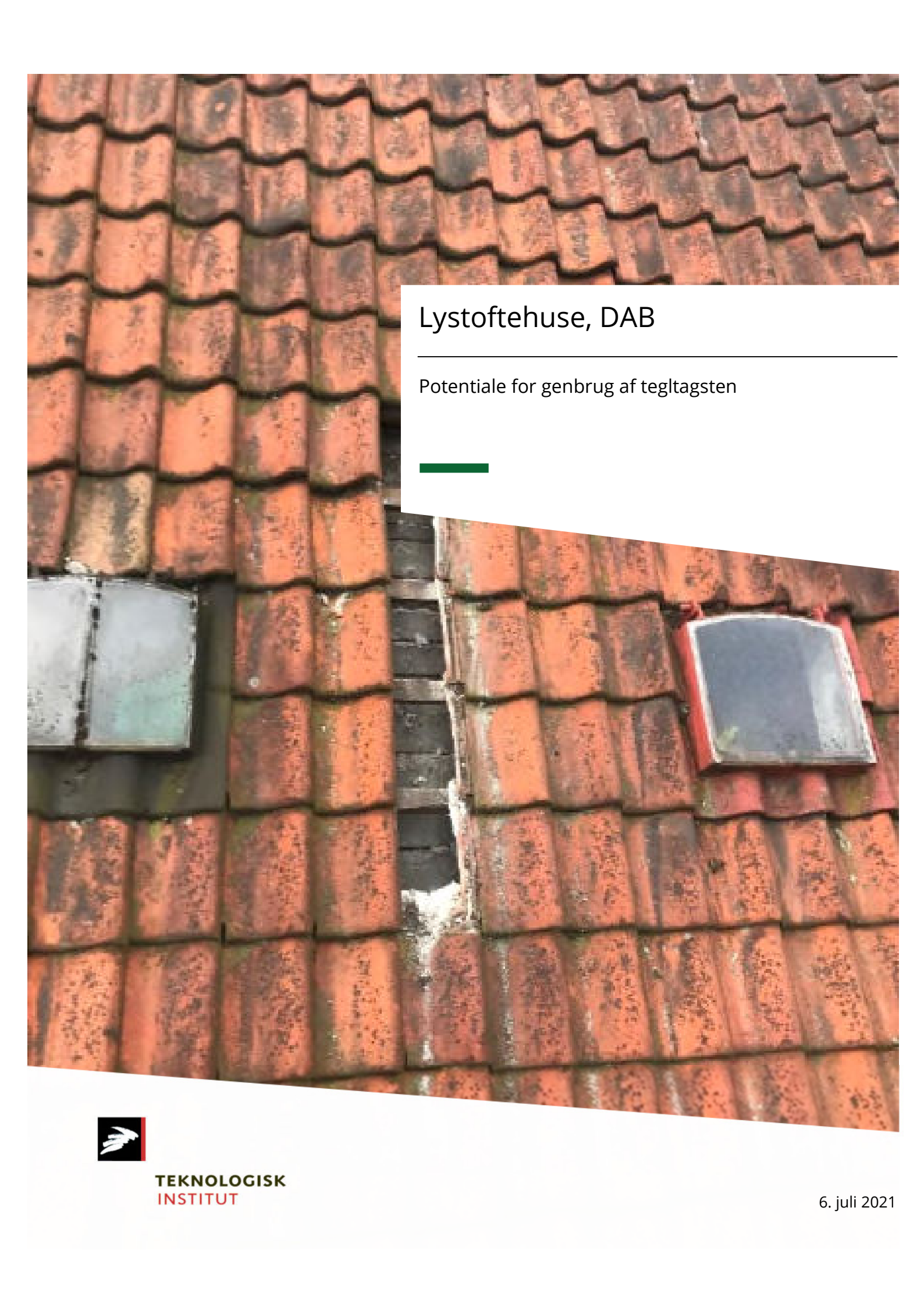
Opsummeret nutidsværdi (uden restværdi)



Denne rapport er fremstillet i LCByg 3.2.16



4: Potentiale for genbrug af tegltagsten, samt bestemmelse af porefyldningstal



Lystoftehuse, DAB

Potentiale for genbrug af tegltagsten

—



Titel:

Lystoftehus, DAB
Potentiale for genbrug af tegltagsten

Rekvirent:

Wissenberg A/S Rådgivende Ingeniører F.R.I.
Hejrevej 26
2400 København NV

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: Lars Peter Salmonsén, tlf. 7220 3499, lps@teknologisk.dk

Opgave nr.: 0403/979368

Version nr.: 01

Dato: 6. juli 2021

Resultater af Instituttets 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. Instituttets 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.	Modtagne informationer	4
3.	Udtagning af tagsten	4
4.	Makroskopisk analyse	5
4.1.	Skævheder	6
4.2.	Forvittringer	6
4.3.	Begroning og tilsmudsning	7
4.4.	Mørtelrester og fjernelse af mørtelrester	8
4.5.	Mekaniske skader	9
4.6.	Skærvfarve og struktur	9
5.	Laboratorieundersøgelser	10
5.1.	Genbrænding	10
5.2.	Porefylldningstal	13
6.	Vurdering	14
6.1.	Særlige forhold ved genanvendelse.....	15
6.2.	Spildprocent	16
7.	Anbefalinger vedr. genanvendelse.....	17
7.1.	Alternativ genanvendelse	17
	Bilag 1: Fotos	18
	Bilag 2: Makroskopisk analyse – registreringer ved gennemgangen	21

1. Indledning

Efter aftale med Wissenberg A/S har Teknologisk Institut foretaget undersøgelser af tagsten, udtaget af rekvirenten, med henblik på vurdering af egnetheden til genbrug, herunder en vurdering af spildprocent og restlevetid.

Omfanget af laboratorieundersøgelser er aftalt til:

- 50 stk. tagsten vurderes makroskopisk
- 25 stk. analyser af porefyldningstal
- 12 stk. genbrænding

På baggrund af ovenstående skal tagstenenes potentiale for genanvendelse vurderes, herunder estimeres en spildprocent.

2. Modtagne informationer

Der er modtaget et notat, dateret 07-06-2021, udført af Søndergaard.dk, med præcis angivelse af udtagning og fotoregistrering af taget i forbindelse med udtagningen. Dette notat er anvendt i forbindelse med den makroskopiske vurdering.

Af notatet fremgår, at tagstenene er af fabrikat "Dønnevælde Græsted", bredde 24 cm, længde 39 cm og dybden i buen er 4 cm.

Bebyggelsen

Lyngby almennyttige Boligselskab, afd. Lystoftehuse er en almen bebyggelse beliggende i Lundtofte, en bydel i Kgs. Lyngby.

Bebyggelsen er opført i 1949, tegnet af arkitekterne Kaj Fisker og Viggo Møller-Jensen, og består af 9 boligblokke i 2 etager med i alt 80 boliger. Det bebyggede areal udgør 2.823 m² med et samlet etageareal på 5.528 m².

Bebyggelsen er et karakteristisk eksempel på en "parkbebyggelse", opført omkring 1950 som muret byggeri med afvalmede tegltage.

3. Udtagning af tagsten

Rekvirenten har udtaget tagstenene, og dokumenteret udtagningen ved ovennævnte notat fra Søndergaard.

Ifølge notatet er alle tagsten nedtaget fra samme tag, fra begge tagflader ekskl. valme. Instituttets vurderinger er baseret på, at det af rekvirenten valgte tag er repræsentativt.

Dette er forudsat at gælde såvel eventuel begroning og slitage i form af forvittringer og andre skader, som kan variere efter tagfladens orientering mod verdenshjørnerne og evt. lokal belastning.

For at få en ensartet repræsentation fra tagfladen er udtagning foretaget efter den fremsendte anvisning, således:

- Tagfladen inddeles i 10 omtrent lige store felter.
- Tagstenene udtages fra hvert felt som "5 sten på række".
- Stenene skal udtages repræsentativt, dvs. ikke ud fra om de er skadet eller ej.

Der er iht. rekvirentens mærkning af tagsten udtaget som anvist:

- 2 x 5 nær tagryg, mærket NTR 1 (1 til 5) og NTR 2 (1 til 5)
- 2 x 5 nær tagfod, mærket NTF 1 (1 til 5) og NTF 2 (1 til 5)
- 4 x 5 fra midterflader, mærket FMF 1 til FMF 4 (1 til 5)
- 2 x 5 nær gavle, mærket NG 1 (1 til 5) og NG 2 (1 til 5)

I alt 10 x 5 tagsten.



Fig. 1. Lystoftehuse, kilde: Google

Det er oplyst, at tagsten er udtaget fra begge tagflader (men ingen fra valmet gavle) på adressen Lystoftevej 3A og 3B, angivet med rødt mærke på fig. 1.

Det ses, at det valgte tag ligger ca. midt i bebyggelsen og at tagfladerne er orienteret mod hhv. nord-nordøst, NNØ, og syd-sydvest, SSV.

Ved enkelte gavle mod ØSØ ses større træer tæt mod gavlen.

Alle blokkene har samme orientering mod verdenshjørnerne, og det udvalgte tag må dermed forventes at have god repræsentativitet ift. eksponering.

4. Makroskopisk analyse

50 tagsten blev underkastet makroskopisk analyse, som er en systematisk visuel gennemgang. Den visuelle gennemgang er sammenholdt med den modtagne fotoregistrering i forbindelse med nedtagningen. Registreringer ved gennemgangen ses i bilag 2.

Tagstenene er af typen røde falstagsten, med nakke og hul til binding på bagsiden. Der er ingen identifikationsmærker på tagstenene, som alle er af samme type, i øvrigt som oplyst under afsnit 2. Modtagne informationer.

4.1. Skævheder

Ved den makroskopiske gennemgang er det umiddelbart visuelt konstateret, at tagstenene er skæve, se fig. 2. Tagstenene blev umiddelbart efter indledende fotografering gennemskåret for at kunne bedømme skærven. Der er således ikke foretaget en individuel registrering af skævheder.



Fig. 2. Foto af FMF4-serien

Fotos fra notat vedr. nedtagningen bekræfter skævheden, se bilag 1, foto. 1 og 2.

Skævhederne vurderes at have bevirket, at falsene ikke har sluttet tæt sammen. Dette ses også af den store mængde smuds (jord, støv) i falsene. Den manglende tæthed af samlinger i fals betyder, at understrygningsmørtlen er presset dybt ind i falsene, og dette er sket nedefra, idet der ikke ses overstrygning i den fremsendte fotoregistrering. Se også afsnit 4.4. Mørtelrester og fjernelse af mørtelrester.

4.2. Forvittringer

Tagstenenes over- og underside blev gennemgået for forvittringer, som kan være tegn på begyndende frostskafer.

Der blev ikke konstateret forvittringer. Nedenstående er noteret ved gennemgangen:

Note 1: Forekomst af små "afskalninger" fra oversiden, se fig. 3. Der er ikke tale om brud i tegl-skærven, men afskalninger fra den biologiske vækst, formentlig på grund af uddøde "kolonier".

Ved pådrypning af vand ses ingen sugning fra de blottede områder, som normalt ses ved afskalninger af teglmaterialer. Fænomenet er uden betydning.



Fig. 3. Foto af tagsten FMF2.5, små "afskalninger" fra algelag

Note 2: Der er konstateret mindre hakker og afskrabninger på bagsiden. Der er tale om mindre mekaniske skader ved nedtagningen.

Ved at sammenholde forekomsten af note 1 og note 2 for hhv. NNØ og SSV, noteres:

- Mod NNØ: 9 x note 1 og 4 x note 2
- Mod SSV: 0 x note 1 og 5 x note 2

Forekomsten af note 1 er mest udtalt mod NNØ, svarende til en højere forekomst af begroning (se også nedenfor, afsnit 4.3. Begroning og tilsmudsning).

Forekomsten af note 2, mekaniske skader, er ligeligt fordelt mellem NNØ og SSV, hvilket er forventeligt, og bekræfter, at der er tale om mekaniske skader og ikke slitage.

4.3. Begroning og tilsmudsning

Næsten alle tagsten har på oversiden begroning i form af alger, mos og/eller lav. Dette har ingen betydning for holdbarheden, og er alene et æstetisk problem.

Falsene er på oversiden fyldt med smuds, fra jordfygning og nedbrudt plantemateriale.

På undersiden ses 30 sten at være at være tilsmudsede af et ikke-identificeret mørkt lag smuds.

Ved at sammenholde forekomsten af hhv. alger (A), mos (M) og lav (L) på tagstenenes oversider for orientering mod hhv. NNØ og SSV, noteres:

- Mod NNØ: 15 x alger, 19 x mos, 13 x lav
- Mod SSV: 2 x alger, 1 x mos, 12 (+5) x lav (de 5x var en meget lille/tvivlsom forekomst)

Det ses at alger og mos dominerer på NNØ-tagfladen, mens forekomsten af lav er ens på NNØ og SSV. Dette svarer til Institutts generelle erfaringer for tegltage.




Der er kun udtaget tagsten fra en enkelt bygning. Begroning forekommer typisk på nord- og østvendte tagflader, og fremmes af skyggegivende store træer. Andre tagflader kan være mere eller mindre fri for vækst.

Biologisk vækst har ingen skadevirkning på tegltagsten. Se også afsnit 6.1. Særlige forhold ved genanvendelse.

4.4. Mørtelrester og fjernelse af mørtelrester

Tagfladen har været understrøget med mørtel. Mørtelrester er registreret som følger (eksempler i tabel 1):

1. Mørtelpølser: Store mørtelklumper, som findes på side- og-/eller overfals, og som må fjernes, for at tagstenene kan lægges igen.
2. Mørtellag: tykke mørtellag på bagsiden af tagstenen, ikke til hinder for genlægning
3. Mørtelslør: tynde mørtellag på bagsiden, uden betydning.

Eksempel på 1. Mørtelpølser	Eksempel på 2. Mørtellag	Eksempel på 3. Mørtelslør
		

Tabel 1. Karakterisering og registrering af mørtelrester

34 ud af 50 tagsten har mørtelpølser (type 1) på over- og/eller undersidens false.

Da mørtelpølserne er en hindring for genbrug, og det ikke er realistisk at sortere 2/3 af tagstenene fra, er der foretaget forsøg med at banke mørtlen af.

Kommentar til fjernelse af mørtel:

Mørtlen er forholdsvis svag på de undersøgte tagsten, og kan fjernes ved at banke med en murerhammer. Da der er tale om flere tage, kan der også være stor forskel på mørtelstyrken på de enkelte tage. Der kan være tage, hvor mørtlen er nemmere at fjerne, og andre, hvor den er sværere at fjerne.

Det må dog forventes, at nogle sten må frasorteres, idet mørtel ikke kan fjernes eller sten går i stykker ved fjernelse. Mørtlen forekommer på en stor andel af stenene fra det valgte tag. Se også afsnit 6.1. Særlige forhold ved genanvendelse, 6.2. Spildprocent, samt afsnit 7. Anbefalinger ved genanvendelse.

Se også foto 3 og 4 i bilag 1.

Område NTF1 er den eneste hele gruppe uden væsentlige mørtelpølser. Det ses af foto 2 og 4 i bilag 1, at der under tagstenene er brædder i dette område, formentlig i forbindelse med udhæng.

4.5. Mekaniske skader

Der forekommer enkelte skader i form af manglende "nakke" (5 stk.) og manglende bindehul (3 stk.). Skaderne antages at være opstået ved nedtagning, og kan være en følge af den kraftige understrygning.

Bindehullet er af en ældre type, hvor tagsten blev bundet indefra med ståltråd, efter oplægning. Ved genbrug anbefales det at anvende sidefalsbinder, hvorved knast med bindehul er uden betydning.

Oplyst i notat ved nedtagning: Ved NG1 blev der registeret 1 stk. ødelagt (knækket) tegl ved grat.

4.6. Skærvfarve og struktur

Tagstenene er gennemskåret for at vurdere skærvens farve og struktur. Ved gennemgangen er skærvfarven inddelt i:

- Lys, L (light)
- Medium, M (medium)
- Mørk, D (dark)

Der er tale om en relativ inddeling. Forskellen mellem M og D er meget lille, mens L skiller sig mere klart ud.

Optælling viser:

- 2 stk. L, lys
- 30 stk. M, medium
- 18 stk. D, mørke

Disse er jævnt fordelt mellem NNV og SSV, hvilket er forventeligt, idet skærvfarven ikke ændrer sig med tiden.

Slirer og luftindeslutninger

Falstagsten er fremstillet ved ekstrudering og efterfølgende formpresning i gipsforme. Ekstrudering foretages under vakuum, og er dette ikke indstillet korrekt, fås revnelignende "slirer" og luftindeslutninger.

Disse er ikke i sig selv problematiske, medmindre en forvittringsproces er i gang, hvor slirer nær overfladen kan inducere afskalninger.

Omfanget af sådanne slirer er relativt stort og er konstateret på 36 tagsten i alt, jævnt fordelt på NNØ og SSV. Da der ikke er konstateret forvittringer, anses forekomsten af slirer for uvæsentlig for holdbarheden.

5. Laboratorieundersøgelser

5.1. Genbrænding

Delprøver af 12 tagsten er genbrændt til hhv. 980°C og 1000°C. Efter genbrænding evalueres det, hvorvidt genbrændingen har resulteret i skift i stenedes skærvfarve og dimensioner. På baggrund heraf kan det vurderes, om teglet oprindeligt er produceret ved en temperatur lavere end hhv. 980°C og 1000°C. Resultater fra undersøgelsen af hver prøve er opsummeret i tabel 2.

I samme tabel er registreret de målte porefyldningstal for de 12 tagsten samt farven jf. den makroskopiske undersøgelse. De 12 sten er udvalgt repræsentativt i forhold til antal M (medium) og D mørk (dark) samt en af de kun to teglsten med farven L (lys).

Middelværdien af porefyldningstal for de genbrændte sten er beregnet til 0,72. Middelværdien for samtlige målte poretal er 0,71. Delprøven anses derfor som repræsentativ, også mht. porefyldningstal.

Der forekom ingen ændringer af dimensioner, idet brudstykker kunne passes sammen efter genbrænding. Der forekom kun farveændring i mindre grad, som noteret i tabel 2.

Tagsten nr.	Porefyldningstal	Farve	Farveændring ift. orig.		Ændring i dimensioner
			980°C	1000°C	980°C og 1000°C
FMF1-3	0,72	M	ingen	ingen	ingen
FMF2-2	0,70	D	ingen	ingen	ingen
FMF2-3	0,73	M	ingen	ingen	ingen
FMF3-1	0,72	M	ingen	ingen	ingen
FMF3-3	0,71	M	ingen	ingen	ingen
FMF3-5	0,71	M	ingen	ingen	ingen
NG1-1	0,71	D	ingen	ingen	ingen
NG1-2	0,76	M	ingen	ingen	ingen
NG2-3	0,73	L	mørkere	note 1	ingen
NTF1-4	0,67	D	ingen	ingen	ingen
NTF2-2	0,74	M	ingen	note 2	ingen
NTR2-4	0,69	D	ingen	ingen	ingen
middel	0,72				

Tabel 2. Resultat af genbrænding af 12 tagsten

Note 1: Der sås yderligere en svag farveændring mod det mørkere, fra 980°C til 1000°C.

Note 2: Der sås en minimal farveændring mod det mørkere.

Samlet vurdering af genbrænding

Ingen sten ændrede format ved genbrænding op til 1000°C.

Kun en sten, nr. NG2-3, L lys, blev mørkere ved genbrænding ved 980°C, og yderligere svag farveændring ved 1000°C. Stenen er med stor sandsynlighed brændt ved temperatur under 980°C.

Kun en enkelt sten NTF2-2, med farven M medium, viste svag farveændring ved 1000°C, mod det mørkere.

Ingen mørke sten viste farveændring ved genbrænding.

Farveforskellen mellem M medium og D mørk (dark) er som tidligere nævnt lille.

Da genbrænding kun i et enkelt tilfælde har medført ændring til mørkere farve fra Medium, konkluderes det, at alle sten M og D er brændt ved tilnærmelsesvis samme temperatur, som er lig med eller højere end 1000°C. Den lyse sten er brændt ved en lavere temperatur. Da der kun er tale om 2 lyse sten ud af en prøve på 50 stk., er der næppe tale om sten fra forskellige brændinger, men om sten med en placering i ovnen, hvor de ikke har nået samme temperatur i samme tidsrum som resten af stenene.

Brænding ved 1000°C anses for at give god frostfasthed og holdbarhed.



Fig. 4. Skærv fra NG2-3. Nederst ses skærven før genbrænding, øverst efter genbrænding til 980°C.

Nogle detaljer fra genbrændte tagsten ses i figur 5 til 8 nedenfor.



Fig. 5. Tagsten NTR2.4. Bemærk "krater" i venstre halvdel, ca. midt på, med begroning.



Fig. 6. Samme tagsten NTR2.4 efter genbrænding. Al biologisk vækst er bortbrændt. "Krateret" vurderes at være en enkeltstående kalkspringer og uden betydning for holdbarheden.



Fig. 7. Tagsten FMF3.1, før genbrænding



Fig. 8. Tagsten FMF3.1, efter genbrænding. Overfladeskader vurderes at være opstået i forbindelse med formgivningen – der er ikke tale om forvittringer.

5.2. Porefyldningstal

Porefyldningstal, som er en indikation af teglets frostfasthed, er bestemt som beskrevet i vedlagte prøvningsrapport 0308/979368-1. Jo lavere porefyldningstal, jo mere frostsikker bedømmes teglet til at være. Metoden er udviklet til mursten, men da metoden måler egenskaber ved teglskærven, anvendes den også som indikation til tagsten, i kombination med andre analyse- og vurderingsmetoder.

Grænseværdierne er angivet i fig. 9:

I henhold til Murkatalog 2001, Norsk anvisning M1 kan porefyldningstallet p benyttes som indikation på teglstensfrostmodstandsevne efter følgende kriterier (erfaringsstal for norske teglprodukter):

- $p < 0,8$: Tilfredsstillende frostmodstandsevne for udendørs anvendelse i norsk klima
- $0,8 < p < 0,9$: Usikker frostmodstandsevne
- $0,9 < p$: Normalt ikke tilfredsstillende frostmodstandsevne.

Fig. 9. Kriterier for frostfasthed iht. Murkatalog 2001, Norsk anvisning M1.

Middeltallet for samtlige testede tagsten er 0,71, spredning 0,07. Samtlige enkeltværdier er ligeledes under 0,8, hvilket indikerer tilfredsstillende frostmodstandsevne.

Statistisk vurdering af porefyldningstal

Den statistiske vurdering er foretaget pba. metoden i DS/CEN/TR 16886:2016, Vejledning om anvendelse af statistiske metoder til bestemmelse af egenskaberne for murværksprodukter.

Metoden består i at anvende middelværdi m , spredning s og en sikkerhedsfaktor k , som fastlægges ud fra antal emner i stikprøven, valgt fraktil, konfidensniveau, antal prøver n , samt om der er tale om kendt eller ukendt spredning.

Metoden tager hensyn til, at de faktiske værdier i en hel population kan afvige fra værdierne målt i stikprøven. For porefyldningstal er den sikre værdi en øvre værdi, og den statistisk sikre værdi p_s udregnes derfor som:

$$p_s = m + k \cdot s$$

Fraktilværdien vælges som 90%, med et konfidensniveau på 75%, svarende til materialeværdier, som ikke er styrkeværdier. Med $n = 25$ fås af tabel B.6: $k = 1,498$, således

$$p_s = m + k \cdot s = 0,71 + 1,498 \cdot 0,07 = 0,81$$

Med en statistisk sikkerhed på 75% ligger porefyldningstal for 90% af samtlige tagsten på **højest 0,81**, dvs. lige over grænsen for tilfredsstillende frostmodstandsevne.

6. Vurdering

På baggrund af den makroskopisk vurdering, genbrænding og porefyldningstal vurderes tagstenene at være frostfaste og have en god holdbarhed ved genanvendelse:

- Den makroskopiske vurdering, jf. afsnit 4.2., 4.5. og 4.6., viser ingen begyndende forvitringsskader eller tegn på indre skader.
- Ved genbrænding, jf. afsnit 5.1., er det vurderet baseret på skærvfarve, at 48 af 50 tagsten er brændt ved mindst 1000°C, hvilket indikerer frostfasthed.
- De 25 målte porefyldningstal, jf. afsnit 5.2., ligger alle under 0,8, hvilket indikerer frostfasthed.
- Med en statistisk sikkerhed på 75% ligger værdien af porefyldningstal for 90% af samtlige tagsten på **højest 0,81**, dvs. lige over grænsen for tilfredsstillende frostmodstandsevne.

Tagstenene er oplagt i 1949. De har således været anvendt i 52 år.

Levetiden for tagsten er iht. "Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi", SBI 2013:30, appendiks F_ konstruktionsdelskode (47)1, overfladekomponenter. Den gennemsnitlige levetid for tegltagsten angives her til 60 år. Det må antages, at denne levetid er vurderet som en samlet levetid for undertag og tagsten, idet den faktiske levetid af tegltagstenene, efter Teknologisk Instituts erfaringer, typisk er betydeligt længere, når tagstenene er oplagt korrekt. En levetid på 125 år eller længere er realistisk.

Ved genbrug, hvor konstruktioner og oplægning overholder gældende vejledning (Tegl 36), er der ingen indikationer for, at tagstenene har lavere restlevetid end en ny tegltagsten.

Restlevetiden vurderes således til 75 til 125 år, med en meget lille andel 2-5% (tagsten som er brændt ved en lidt lavere temperatur jf. afsnit 5.1., forekommer i meget lavt antal), som efter en årrække kan få begyndende forvittringer.

6.1. Særlige forhold ved genanvendelse

Der gør sig særlige forhold gældende ved genanvendelse, beskrevet nedenfor:

Begroninger og smuds

En stor del af tagstenene er stærkt tilsmudsede og begroet med alger, mos og lav. Dette har ingen betydning for holdbarheden, men skal tages i betragtning ved genanvendelse.

Det bemærkes, at belægninger og biologisk vækst på tagstenene ikke vurderes at være skadelige for materialet. Ved afrensning af tegltage og/eller tegltagsten med kemikalier eller højtryksrensning er der derimod risiko for, at teglmaterialets overflade beskadiges. Selv uden beskadigelse har forsøg vist, at afrensning kan føre til øget ophobning af fugt i materialet. Dvs. at man ved afrensning risikerer at erstatte et udelukkende æstetisk problem med et materialemæssigt problem, som kan give reduceret levetid af materialet.

Ved genanvendelse anbefales det at acceptere det patinerede udseende.

Mørtelrester

En meget stor del af tagstenene har mørtelrester, som fylder i falsene og som det er nødvendigt at rense af, før stenene kan genanvendes. Tidsforbruget hertil må vurderes ved en prøveafrensning under de faktiske forhold, og vil udgøre en ekstra omkostning.

I praksis vil lavt tidsforbrug formentlig resultere i flere ødelagte tagsten, og vice versa: en forsigtig afrensning vil tage tid, men resultere i et meget begrænset spild.

Skæve sten

Da et nyt tag vil blive oplagt med undertag, har skævhederne ikke den store betydning for genanvendelsen, ud over det æstetiske, idet indtrængning af vand og fygesne vil blive opfanget af undertaget og ledt bort.

Det forudsættes, at undertaget har en passende holdbarhed overfor UV-lys, idet gabende false også kan bevirke mere sollyspåvirkning af undertaget.

Der kan også forventes et lidt øget tidsforbrug til oplægning. Dette kan evt. afprøves af fagfolk ved lægning af fx 25-50 tagsten som prøve.

6.2. Spildprocent

Spildprocenten er vurderet ud fra:

- Skader opstået ved nedtagning
- Skader ved rensning for mørtel
- Eksisterende skader
- Frasortering af særligt skæve sten, evt.

Spildprocenten er et estimat, ikke en statistisk vurdering, da den er foretaget ud fra 50 tagsten.

Ved nedtagning er der kun opstået mindre hak og skrammer. Skader på bindehul er uden betydning, da der ved oplægning må anvendes sidefalsbinder. Tagsten med manglende nakke bør ikke oplægges, men kan evt. anvendes ved grater og skotrender, hvor stenene skal tildannes, og normalt fastgøres med skruer. En udsortering til dette særlige brug vil selvfølgelig også koste ekstra tid.

Skader ved rensning for mørtel er den største usikkerhedsfaktor i forbindelse med genanvendelse mht. spild og omkostninger. Det anbefales at udføre en prøverensning. Teknologisk Institut har foretaget prøverensning af enkelte sten, og vurderer, at mørtlen relativt let kan bankes af stenene. Men da tidsforbruget er en faktor, må det estimeres, at så mange som 10-20% af stenene kan gå til ved rensning, hvis den foretages hårdhændet. Da ca. 70% af stenene fra det undersøgte tag vurderes at skulle renses, bliver spildprocenten alene ved afrensning 7-15%. Bemærk under anbefalinger, at det bør undersøges, om alle tagflader er understrøget på samme måde.

Det anbefales at foretage en prøverensning af f.eks. 100 nedtagne sten, hvor spild og tidsforbrug registreres, som grundlag for den endelige beslutning om genanvendelse.

Ud fra det fotomateriale, som er modtaget, vurderes omfanget af eksisterende skader i form af knækkede sten at være meget lavt. Skårne sten ved afvalmning kan ikke påregnes genanvendt. Dette spild vurderes til 2-5%, hvis der alene er tale om tildannelser ved grater. Ud fra fotoregistreringen ser det ikke ud til, at øverste række tagsten ved tagryg er tildannet. Dette bør kontrolleres.

Frasortering af skæve sten: Da tagstenene har været oplagt en gang, vurderes skævhederne ikke at være til hindring for genanvendelse, men evt. et øget tidsforbrug til lægning. Spild ved frasortering af skæve sten sættes til 0%.

Den samlede spildprocent må realistisk vurderes til mindst 5%, og helt op til 15-20% ved hårdhændet afrensning, hvis alle tagflader er understrøget på samme måde som det undersøgte tag.

7. Anbefalinger vedr. genanvendelse

Stenene er af god kvalitet og holdbarhedsmæssigt egnede til genanvendelse, og restlevetiden vurderes til 75 til 125 år, under forudsætning om korrekt oplægning og konstruktion efter gældende vejledninger (Tegl 36).

Begroninger og smuds må accepteres æstetisk. Det anbefales ikke at rense stenene for smuds og biologisk vækst.

Det anbefales:

- At undersøge, om samtlige tage er udført med samme type understrykning. Det kan betyde høj spildprocent og tidsforbrug til afrensning.
- At foretage et afrensningsforsøg af 100 nedtagne tagsten (med mørtel), udført af samme type personale, som forventes at udføre arbejdet. Herved kan spildprocent og tidsforbrug bedømmes realistisk.

7.1. Alternativ genanvendelse

Skulle det blive besluttet ikke at genbruge tagstenene til genoplægning, ønsker Teknologisk Institut at henlede opmærksomheden på alternativ genanvendelse.

Et igangværende projekt under programmet MUDP Bæredygtigt byggeri, "Recirkulering af murværk til mursten", ledet af Teknologisk Institut og med deltagelse af RGS Nordic og Egersund Wienerberger, undersøger mulighederne for at erstatte sand i murstensproduktion med nedknust murværk.

Teglbranchen i Danmark anvender ca. 175.000 tons sand om året til produktion af tegl. Projektet vil udvikle valide metoder til at oparbejde murværksaffald til et dokumenteret råstof, som erstatter dette sand. Murværksaffald udgør pr. år ca. 400.000 tons, hvoraf kun en mindre del kan genbruges som hele mursten. Hovedparten knuses og nyttiggøres til vejfyld. Projektet muliggør cirkulær ressourceøkonomi for alle fraktioner af murværk, og udvikler en forretningsmodel for at fremstille en værdifuld sekundær ressource, som kan genanvendes i fremstilling af nye mursten.

Det vurderes, at nedtagne tegltagsten, selv med mørtelrester, med stor sandsynlighed kan genanvendes som erstatning for sand i teglproduktion, da der er tale om en stor andel tegl, og der ikke vil være fremmede stoffer i ved en normal nedtagning (skadelige metaldele, plast, beton etc.), som kan forekomme ved nedrevet murværk.

Bilag

Bilag 1: Fotos

Bilag 2: Makroskopisk analyse – registreringer ved gennemgangen

Bilag 1: Fotos



Foto 1. Fra notat, område FMF2



Foto 2. Fra notat, område NTF1



Foto 3. Fra notat, område NTR1



Foto 4. Fra notat, område NTF1

Bilag 2: Makroskopisk analyse – registreringer ved gennemgangen

nr.	forvitring		Begrøning				Mørtelrester		U.S.	U.S.	Skader		Farve	Revner	kalkk.	Poretal	Genbrænd
	O.S.	U.S.	O.S.	O.S.	O.S.	U.S.	O.S.	U.S.			nakke	bindehul					
NTR1.1	ingen	note 2			L	A	1	1		3		Medium	R				
NTR1.2	ingen	ingen			L	A	1	1		3		Medium			K		
NTR1.3	ingen	ingen			L	A						Medium	R1				
NTR1.4	ingen	ingen	A		L	A	1	1			mangler	Dark	R		K	P	
NTR1.5	ingen	ingen			L	A						Medium	RR				
NTR2.1	ingen	ingen	A	M	L	A						Dark	R				
NTR2.2	ingen	ingen	A		L	A	1	1				Dark				P	
NTR2.3	ingen	ingen	A		L	A				3	mangler	Dark	R		K		
NTR2.4	ingen	ingen	A		L	A			2			Dark	R		K	P	
NTR2.5	ingen	ingen	A	M		A	1	1				Medium			K		
NTF1.1	ingen	ingen			L					3		Dark	R				
NTF1.2	ingen	ingen			L					3		Dark	R			P	
NTF1.3	ingen	ingen								3		Medium	RR				
NTF1.4	ingen	ingen			L							Dark				P	
NTF1.5	ingen	ingen					1	1		3		Medium	R			G	
NTF2.1	ingen	ingen		M	L		1	1	2			Dark	R, store				
NTF2.2	ingen	ingen		M	L	A	1	1	2			Medium	R			P	
NTF2.3	ingen	ingen		M	L		1	1	2	3		Medium	R, 1 stor			G	
NTF2.4	ingen	note 2		M			1	1	2	3		Dark	R				
NTF2.5	ingen	ingen		M		A					mangler	Dark	R1		K	P	
FMF1.1	ingen	ingen			L	A	1	1		3		Medium	R				
FMF1.2	ingen	ingen					1	1		3		Light				P	
FMF1.3	ingen	ingen			L	A	1	1		3		Medium	R			P	
FMF1.4	ingen	note 2			L			1		3		Dark	RR		K	P	
FMF1.5	ingen	ingen		M	L	A						Medium	R, 1 stor				

nr.	forvitring		Begrøning				Mørtelrester		U.S.	U.S.	Skader		Farve	Revner	kalkk.	Poretal	Genbrænd
	O.S.	U.S.	O.S.	O.S.	O.S.	U.S.	O.S.	U.S.			nakke	bindehul					
FMF2.1	note 1	ingen		M		A			2			Medium				P	
FMF2.2	note 1	ingen		M			1		2	3		Dark	R			P	
FMF2.3	note 1	note 2		M	L	A				3		Medium	R			P	
FMF2.4	ingen	ingen		M		A	1	1		3	mangler	Medium	RR			P	
FMF2.5	note 1	ingen		M		A	1					Medium	R			P	
FMF3.1	ingen	ingen			(L)		1	1		3	mangler	Medium				P	
FMF3.2	ingen	note 2			(L)	A	1	1		3		Medium				P	
FMF3.3	ingen	note 2			(L)	A	1	1		3		Medium	R			P	
FMF3.4	ingen	note 2			(L)							Medium	R			G	
FMF3.5	ingen	ingen			(L)		1	1		3		Medium	R			P	
FMF4.1	ingen	note 2	A	M		A	1	1	2			Dark					
FMF4.2	ingen	ingen	A	M		A	1	1	2			Dark	R1		K		
FMF4.3	ingen	note 2	A		L	A	1	1	2	3		Medium			K		
FMF4.4	ingen	ingen	A	M	L	A	1	1	2		mangler	Dark	R1		K		
FMF4.5	ingen	ingen	A		L	A	1	1	2	3		Dark			K		
NG1.1	note 1	ingen	A	M		A	1	1				Dark	R			P	
NG1.2	note 1	ingen	A	M					2			Medium			K	P	
NG1.3	note 1	ingen	A			A	1	1	2			Medium	R			G	
NG1.4	note 1	ingen	A	M	L	A	1	1				Medium	RR			P	
NG1.5	note 1	ingen	A	M	L	A	1	1	2			Medium	R		K		
NG2.1	ingen	ingen			L		1	1		3		Medium	RR			P	
NG2.2	ingen	ingen	A		L	A				3	mangler	Medium	R		K		
NG2.3	ingen	ingen			L		1	1		3	mangler	Light				P	
NG2.4	ingen	note 2			L		1	1		3		Medium				P	
NG2.5	ingen	ingen			L		1	1		3		Medium	R, 1 stor				

Prøvningsrapport

RAPPORTNUMMER:
0308/979368-1



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Teknologiparken
Kongsvang Allé 29
DK-8000 Aarhus C
+45 72 20 20 00
Info@teknologisk.dk
www.teknologisk.dk

Side 1 af 3
Init.: MSTM/MIDJ
Opgavenr.: 0308/979368-1

- Rekvirent:** Wissenberg A/S Rådgivende Ingeniører F.R.I.
Hejrevej 26
2400 København NV
- Emne:** 60 brugte falstagsten af tegl, hvor af 10 stk. ikke er mærket. De øvrige 50 er fordelt i 10 kasser med 5 tagsten i hver. Kasserne er mærket af rekvirent. De 5 tagsten i hver kasse er tildelt rekvirentens mærke og et løbenummer fra 1 til 5. Ud af de 50, som er mærket af rekvirent, er der bestemt porefyldningstal på 25 stk. se tabel 1 side 2 for nærmere beskrivelse.
- Udtagning:** Prøverne er udtaget af rekvirenten. Prøverne blev modtaget på laboratoriet d. 07-06-2021.
- Periode:** Prøvningen er gennemført i perioden 11-06-2021 til 18-06-2021.
- Metode:** DS/EN 772-21:2011 Metoder til prøvning af byggesten til murværk - Del 21: Bestemmelse af tegl- og kalksandstens vandabsorption ved hjælp af absorption med koldt vand
DS/EN 772-7:1998 Prøvningsmetoder for byggesten til murværk. Del 7: Bestemmelse af vandoptagelse for fugtisolierende lag af teglbyggesten ved kogning i vand
Murkatalogen 2001 Bestemmelse af porefyldningstal punkt 3.6.
Anvisning M1
- Resultat:** Resultater fremgår af tabel 2 på side 3.
- Opbevaring:** Prøven vil blive destrueret efter 3 måneder, hvis ikke andet er aftalt skriftligt.
- Bemærkninger:** Ved bestemmelse af tagstenenes vandoptag, er principperne i hhv. DS/EN 772-7 og DS/EN 772-2 anvendt. Se nærmere beskrivelse under "prøvnings gennemførelse "
- Vilkår:** Prøvningen er udført i henhold til internationale krav (ISO/IEC 17025:2017), og i henhold til Teknologisk Instituts almindelige vilkår. Prøveresultaterne gælder udelukkende for det prøvede emne. Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag, hvis Teknologisk Institut skriftligt har godkendt uddraget.
- Sted:** 21-06-2021, Teknologisk Institut, Murværk, Aarhus
- Underskrift:** Mette Stubager Moesgaard Sektionsleder, ph.d., kemiingeniør
Direkte tlf.: +45 7220 1708
E-mail: MSTM@teknologisk.dk
- Mikkel Daniel Vahle Johnsen
Konsulent
Direkte tlf.: +45 7220 3532
E-mail: MIDJ@teknologisk.dk



Prøvemateriale

Tabel 1: Oversigt over prøvemateriale.

Prøve	Anvendt til prøvning	Prøve	Anvendt til prøvning
NTR1.1		FMF2.1	X
NTR1.2		FMF2.2	X
NTR1.3		FMF2.3	X
NTR1.4	X	FMF2.4	X
NTR1.5		FMF2.5	X
NTR2.1		FMF3.1	X
NTR2.2	X	FMF3.2	X
NTR2.3		FMF3.3	X
NTR2.4	X	FMF3.4	
NTR2.5		FMF3.5	X
NTF1.1		FMF4.1	
NTF1.2	X	FMF4.2	
NTF1.3		FMF4.3	
NTF1.4	X	FMF4.4	
NTF1.5		FMF4.5	
NTF2.1		NG1.1	X
NTF2.2	X	NG1.2	X
NTF2.3		NG1.3	
NTF2.4		NG1.4	X
NTF2.5	X	NG1.5	
FMF1.1		NG2.1	X
FMF1.2	X	NG2.2	
FMF1.3	X	NG2.3	X
FMF1.4	X	NG2.4	X
FMF1.5		NG2.5	

Prøvningens gennemførelse

Til bestemmelse af tegltagstenenes vandoptag i koldt vand og i kogende vand, anvendes principperne i hhv. DS/EN 772-21 og DS/EN 772-7 der omhandler teglbyggestenens egenskaber. Principperne i disse standarder anvendes, da der for tagsten ikke er lignende standarder til bestemmelse af disse egenskaber. Det vurderes at overstående standarder kan anvendes, til bestemmelse af vandoptaget på tegltagstenene, da tegltagstenene er af samme materiale som teglmursten.

Alle prøver er udtaget som delprøve af de hele tegltagsten. Prøverne er udtaget/skåret fra bunden af tegltagstenen og i fuld bredde. Længde er ca. 150 mm.

Inden prøvning er delprøverne rengjort for rester af understrygningsmørtel. Fastsiddende alger, mos og lav er ikke afrenset inden prøvning.

Prøveemnerne blev tørret iht. DS/EN 772-7:1998 og DS/EN 772-21:2011. Herefter blev vandabsorptionen, ved ned-sænkning i koldt vand bestemt efter principperne i DS/EN 772-21:2011, dog med kontakttid på 48 timer mod 24



timer forskrevet i standarden. Kontakttiden øges for at sikre, at tagstenene var vandmættet. Efterfølgende blev vandoptagelsen ved kogning iht. DS/EN 772-7:1998 bestemt.

Porefyldningstallet blev bestemt ud fra det norske Murkatalogen 2001, Tegl og teglmurverk, anvisning M1 3.6.

Prøvningsresultater

Tabel 2: Resultater af vandoptag og porefyldningstal, hvor m_d angiver tørvægt, m_s angiver vådvægt og W_s angiver vandoptaget i %.

nr.:	EN 772-21			EN 772-7		Porefyldnings- tal [-]
	m_d [g]	m_s [g]	W_s [%]	m_s [g]	$W_{s,kogning}$ [%]	
NTR1-4	1035	1117	8	1166	12,7	0,63
NTR2-2	1152	1227	7	1331	15,5	0,42
NTR2-4	1136	1253	10	1305	14,9	0,69
NTF1-2	1092	1200	10	1250	14,5	0,68
NTF1-4	1054	1162	10	1215	15,3	0,67
NTF2-2	1089	1220	12	1265	16,2	0,74
NTF2-5	1121	1232	10	1281	14,3	0,69
FMF1-2	1050	1172	12	1214	15,6	0,74
FMF1-3	1115	1240	11	1288	15,5	0,72
FMF1-4	1072	1181	10	1230	14,7	0,69
FMF2-1	1084	1216	12	1261	16,3	0,75
FMF2-2	1040	1143	10	1188	14,2	0,70
FMF2-3	1073	1193	11	1237	15,3	0,73
FMF2-4	1097	1223	11	1269	15,7	0,73
FMF2-5	1096	1225	12	1272	16,1	0,73
FMF3-1	1063	1187	12	1236	16,3	0,72
FMF3-2	1094	1217	11	1263	15,4	0,73
FMF3-3	1082	1201	11	1249	15,4	0,71
FMF3-5	1086	1209	11	1259	15,9	0,71
NG1-1	1079	1193	11	1239	14,8	0,71
NG1-2	1132	1268	12	1310	15,7	0,76
NG1-4	1048	1180	13	1216	16,0	0,79
NG2-1	1018	1138	12	1181	16,0	0,74
NG2-3	996	1117	12	1161	16,6	0,73
NG2-4	976	1095	12	1138	16,6	0,73
Middel			11		15,4	0,71

Porefyldningstallene er beregnet iht. det Murkatalogen 2001 Anvisning M1 punkt 3.6. ved af dividere vandoptag i % (W_s) med vandoptaget opnået iht. DS/EN 772-7 ($W_{s,kogning}$). Porefyldningstal er bestemt forud for afrunding af vandoptag (W_s).