

Renere teknologi til undgåelse af biologisk vækst på murværk, tegl- og Betontage

- Undersøgelse af forekomster

Charlotte Frambøl, Helge Hansen, Jens Østergaard,
Anne Pia Koch og Tommy Jacobsen
Teknologisk Institut

Line Balschmidt og Ulrik Søchting
Københavns Universitet

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
BAGGRUND FOR PROJEKTET	7
FORMÅL	7
AFGRÆNSNING OG ANGREBSVINKEL	7
KONKLUSION	9
SUMMARY AND CONCLUSIONS	15
BACKGROUND FOR THE PROJECT	15
PURPOSE	15
DEFINITION AND APPROACH	15
CONCLUSION	17
1 INDLEDNING	23
1.1 BAGGRUND	23
1.2 AFGRÆNSNING	23
1.3 KILDER	24
2 FORMÅL	25
3 MÅLGRUPPE	27
4 AKTIVITETER	29
4.1 LITTERATURSTUDIE	29
4.2 ERFARINGSOPSAMLING	29
4.3 BESIGTIGELSER/REGISTRERINGER	29
4.4 ENKELTSTÅENDE BESIGTIGELSER/UNDERSØGELSER	29
4.5 OMRÅDEBESIGTIGELSE/UNDERSØGELSE	29
4.6 BIOLOGISKE UNDERSØGELSER AF UDTAGNE MATERIALE- OG VÆKSTPRØVER	29
4.7 UNDERSØGELSER AF UDTAGNE MATERIALEPRØVER	30
5 MATERIALER	31
5.1 INDLEDNING	31
5.2 PRODUKTIONSPROCESSER	31
5.2.1 Teglmursten og tegltagsten	31
5.2.2 Muremørtel og pudsmørtel	34
5.2.3 Kalksandsten	35
5.2.4 Natursten	36
5.2.5 Murværk	36
5.2.6 Betontagsten	36
6 MATERIALEEGENSKABER	37
6.1 PH	37
6.2 DENSITET	38
6.3 VANDOPTAGELSE/MINUTSUGNING	38
6.4 FORDAMPNINGSHASTIGHED	39
6.5 NÆRINGSSTOFFER	39
6.6 OVERFLADENS RUHED	40

6.7	PORØSITET	40
7	BIOLOGISK VÆKST	41
7.1	NØGLE I - OVERORDNET BESTEMMELSE AF BIOLOGISK VÆKST	41
7.1.1	<i>Bakterier (ikke medtaget i nøgle og ikke illustreret)</i>	42
7.1.2	<i>Alger</i>	42
7.1.3	<i>Svampe</i>	43
7.1.4	<i>Laver</i>	44
7.1.5	<i>Mosser</i>	44
7.1.6	<i>Andre sporeplanter (ikke medtaget i nøgle og ikke illustreret)</i>	45
7.1.7	<i>Højere planter (ikke medtaget i nøgle og ikke illustreret)</i>	45
7.2	KATALOG OVER BIOLOGISK VÆKST	45
7.2.1	<i>Katalogets tilblivelse</i>	45
7.2.2	<i>Farvekatalogets hovedbudskaber</i>	46
7.3	ARTSLISTE, UDBREDELSE OG HYPPIGHED	46
7.3.1	<i>Laver</i>	47
7.3.2	<i>Mosser</i>	48
7.3.3	<i>Alger</i>	49
7.3.4	<i>Svampe</i>	49
7.4	VÆKSTBETINGELSER	49
7.4.1	<i>Biomodtagelighed</i>	49
7.4.2	<i>Vækstmedium</i>	49
7.4.3	<i>Vegetation og succession</i>	49
8	MATERIALEEGENSKABERNES BETYDNING FOR VÆKST	53
8.1	INDLEDNING/OVERSIGT OVER UDFØRTE UNDERSØGELSER	53
8.2	pH	55
8.2.1	<i>Litteraturens og andre oplysninger om betydning af pH</i>	58
8.3	PORØSITET	58
8.3.1	<i>Litteraturens oplysninger om betydning af porøsitet</i>	60
8.4	DENSITET	60
8.5	VANDOPTAGELSE OG MINUTSUGNING	62
8.5.1	<i>Litteraturens oplysninger om betydning af vandoptagelse</i>	64
8.6	MINUTSUGNING	65
8.7	FORDAMPNINGSHASTIGHED	65
8.7.1	<i>Indledning</i>	65
8.7.2	<i>Sorptionsisotermer</i>	65
8.7.3	<i>Konkrete målinger af fordampningshastighed</i>	68
8.7.4	<i>Kommentering af resultater vedr. fordampningshastighed</i>	76
8.8	NÆRINGSSTOFFER	78
8.8.1	<i>Litteraturens oplysninger om betydning af næringsalte</i>	80
8.9	OVERFLADENS RUHED	80
8.9.1	<i>Litteraturens oplysninger om betydning af overfladeruhed</i>	84
8.10	OVERFLADESPÆNDINGS INDFLYDELSE	84
9	OMRÅDEUNDERSØGELSE	87
9.1	BAGGRUND	87
9.2	FORMÅL	87
9.3	BESKRIVELSE	87
9.4	REGISTRERINGER	88
9.5	OBSERVATIONER	88
9.5.1	<i>Betontage/tegltag</i>	88
9.5.2	<i>Murværk</i>	90
9.5.3	<i>Lavvækst</i>	92
9.5.4	<i>Mos</i>	93
9.5.5	<i>Alger</i>	93

9.5.6	<i>Betydning af tidligere afrensning</i>	94
10	KONSTRUKTIONSFORHOLDS BETYDNING FOR VÆKST	95
10.1	INDLEDNING	95
10.2	GEOGRAFISK PLACERING OG ORIENTERING	95
10.3	TAGUDHÆNG	96
10.4	TAGHÆLDNING	96
10.5	UNDERTAG/TAGVENTILATION	96
10.5.1	<i>Ventilationsforhold</i>	96
10.6	FUGTSPÆRRING/OPSPRØJT	97
10.7	DEFEKTER	98
10.8	FUGEUDFORMNING	99
10.9	MØRTELKVALITET	101
10.10	MIKROANALYSE AF TYNDSLIB AF MURSTEN OG FUGE	102
11	SKADESTYPER	105
11.1	INDLEDNING	105
11.2	DEKOMPONERING AF MATERIALERNE PGA. VÆKSTERS UDSKILLELSE AF SYRER MV.	105
11.2.1	<i>Projektresultater</i>	105
11.2.2	<i>Litteraturoplysninger</i>	106
11.3	MEKANISKE LØFT, MV.	108
11.4	FUGTOPTAGELSE OG AFGIVELSE	108
11.5	VEDHÆFTNING	108
11.6	MISFARVNINGER/ÆNDRET ÆSTETISK UDSEENDE	109
12	RENSEMIDLER/METODER	111
12.1	INDLEDNING	111
12.2	FORSØG MED HEDVANDSRENSNING	111
12.3	ANDEN MEKANISK AFRENSNING	111
12.4	KEMISKE MIDLER	112
12.5	DAMPRENSNING/MICROCLEAN AFRENSNING	112
12.6	ALTERNATIVE MULIGHEDER	113
12.7	RISICI FOR SKADER PÅ MATERIALER VED AFRENSNING	113
13	KONKLUSIONER	115
13.1	INDLEDNING	115
13.2	TYPER AF VÆKST	115
13.3	BETYDENDE VÆKSTPARAMETRE	116
13.4	FOREKOMST AF VÆKST PÅ MATERIALER	116
13.5	AFGØRENDE MATERIALEEGENSKABER	117
13.5.1	<i>pH</i>	117
13.5.2	<i>Densitet og vandoptagelse</i>	117
13.5.3	<i>Fordampningshastighed</i>	117
13.5.4	<i>Næringsstoffer</i>	118
13.5.5	<i>Overfladens ruhed</i>	118
13.5.6	<i>Porøsitet</i>	118
13.6	IDENTIFICERE AFGØRENDE KONSTRUKTIONSFORHOLD	118

13.7	VIRKNINGEN AF DEN BIOLOGISKE VÆKST PÅ MATERIALERNE/SKADESTYPER	119
13.8	INDTRÆNGNING I MATERIALET, SKADER PGA. SYREUDSKILLELSE	119
13.9	MEKANISKE LØFT	119
13.10	ÆNDRET FUGTAFGIVELSE	119
13.11	BETYDNING FOR OVERFLADEBEHANDLINGER	120
13.12	POTENTIELLE RENSEMIDLER/METODER	120
14	REFERENCER	123

Forord

Denne delrapport beskriver 2. fase af projektet: Renere Teknologi til undgåelse af biologisk vækst på murværk, tegl- og betontage. Projektet er bevilget af Miljøstyrelsen og gennemføres af Teknologisk Institut.

Projektets formål er at kortlægge forekomster af biologisk vækst på murværksmaterialer, tegltagsten og betontagsten og på grundlag heraf bestemme de miljømæssigt bedst egnede metoder til forebyggelse af biologisk vækst.

Projektet er opdelt i 4 faser:

- 1. fase omfatter en kortlægning af metoder til forebyggelse og bekæmpelse af biologisk vækst i konstruktionens brugsfase/vedligeholdelsesfase.
- 2. fase omhandler undersøgelser af forekomst af biologisk vækst og dens virkning på materialer.
- 3. fase omfatter udvikling og afprøvning af en metode der kan anvendes til test af metoder og midler til forebyggelse og bekæmpelse af biologisk vækst.
- 4. fase omfatter oplæg til handlingsplaner for renere teknologiløsninger og udarbejdelse af slutrapport.

Projektet forventes at give følgende resultater:

- En aktuel oversigt over hvilke metoder og kemiske midler, der anvendes til forebyggelse og fjernelse af biologisk vækst, samt i hvilken udstrækning de enkelte metoder og midler anvendes.
- En kortlægning af forekomsterne af biologisk vækst på murværk, tegl- og betontage. Herunder udføres biologisk identifikation af væksten samt kortlægning af hvilke parametre, der har betydning for forekomst og omfang af den biologiske vækst. Afrapporteringen af dette forløb vil indeholde beskrivelser af de væsentligste typer biologisk vækst bl.a. vha. farveillustrationer.
- En metode til test af midler og metoder til forebyggelse og bekæmpelse af biologisk vækst.
- En beskrivelse af de muligheder, der er i de enkelte livscyklusfaser for renere teknologiløsninger.

Projektet følges af en følgegruppe bestående af:

- Pia Ølgaard Nielsen, Miljøstyrelsen
- Dan C. Møller, Lafarge Braas Dansk Tag A/S
- Kurt Degn, A/S Randers Tegl
- Lars Christian Bentzon, Optiroc A/S
- Tommy Bisgaard, Kalk- og Teglværksforeningen af 1893
- Tim Padfield, Nationalmuseet
- Christian Bolding, Carl Bro as
- Allan Søstrøm, Boligselskabet Præstehaven
- Tommy B. Jacobsen, Teknologisk Institut, Beton
- Anne Pia Koch, Teknologisk Institut, Bioteknik
- Jens Østergaard, Helge Hansen, Charlotte K. Frambøl, Teknologisk Institut, Murværk

Sammenfatning og konklusioner

Baggrund for projektet

Det er ikke ualmindeligt at se tage og mure, der er mere eller mindre grønne af alger eller mønstrede af gule, grå og sorte laver. På baggrund af den eksisterende viden er det sandsynligt, at nogle organismer skader mere end andre, men for at få mere viden om hvordan og hvor meget forskellige organismer kan skade er det nødvendigt med et grundigere kendskab til, hvilke organismer der er tale om.

Ved større kendskab til organismene og deres foretrukne vækstbetingelser øges mulighederne for at forebygge uønsket vækst.

Formål

Formålet med projektfasen "undersøgelser af forekomster" er at

- identificere de forskellige typer af vækst
- identificere betydende vækstparametre
- identificere hvorledes væksten forekommer på materialerne
- beskrive virkningen af den biologisk vækst på materialerne
- identificere relevante materialeegenskaber
- identificere relevante konstruktionsforhold
- kortlægge og vurdere skadestyper
- identificere potentielle rensmidler/metoder

Ovenstående viden skal bidrage til at anvendte og potentielle forebyggelsesmidler/metoder kan beskrives.

Der skal skelnes mellem muligheder i følgende opdeltede livscyklusfaser:

- udvinding af råvarer
- produktion
- konstruktion
- opførelse/udførelse
- brugsfase/vedligeholdelsesfase

Denne del rapporteres dog først i slutrapporten som afslutning på projektfasen: "Oplæg til handlingsplaner".

Afgrænsning og angrebsvinkel

I projektet anvendes betegnelsen "biologisk vækst" som en fællesbetegnelse for

- bakterier
- alger
- svampe
- laver
- mosser

Højere planter og facadebeplantninger er ikke omfattet af projektet.

Projektet omfatter alene de organismer, der kan vokse på de nedenfor nævnte materialer i Danmark:

- murværksmaterialer inkl.:
 - teglsten
 - kalksandsten
 - natursten
 - muremørtel
 - pudsmørtel
 - kalkede murværksoverflader
 - malede murværksoverflader
- tegltagsten
- betontagsten

Der fokuseres dog især på mursten, tegltagsten og betontagsten.

I projektet skelnes mellem følgende livscyklusfaser for murværk og tage:

1. Udvinning af råvarer
2. Produktion af byggematerialer
3. Konstruktion
4. Opførelse/Udførelse
5. Brugsfase/Vedligeholdelsesfase
6. Nedrivning - Genanvendelse

I indeværende projekt er det valgt at tage udgangspunkt i de eksempler på vækst der er fundet i projektførelsen. Undersøgelsen adskiller sig således fra en række af de i litteraturen beskrevne beslægtede undersøgelser. Disse omhandler oftest udvalgte materialer der er udlagt til eksponering i natur eller laboratorium under mere eller mindre velkarakteriserede betingelser.

Den primære fordel ved indeværende projekts angrebsvinkel vurderes at være, at overblikket/kendskabet over de vækster der kan træffes på de relevante materialer bliver større, da der ikke er indlagt begrænsninger i eksponeringsforhold eller alder på materialerne.

Ulemperne ved angrebsvinklen er, at der er mange forskellige variable at forholde sig til (alder, geografi, eksponeringsforhold, mv.).

Da kendskabet til arterne af vækst på murværk, tegl- og betontage ved projektets begyndelse var meget beskedent - der foreligger ingen resultater af lignende undersøgelser - har projektgruppen vurderet, at fordelene ved den valgte angrebsvinkel er større end ulemperne.

Konklusion

Indledning

Projektet har som tidligere beskrevet taget udgangspunkt i de eksempler på vækst der er fundet i projektføreløbet. Prioriteringen af hvilke undersøgelser og sammenhænge, der skulle ske fordybelse i, har således delvist været styret af hvilke kombinationer af vækst og materiale vi har fået mulighed for at undersøge nærmere.

Det viste sig hurtigt i projektføreløbet at være nemmere at få lov til at udskifte bevoksede tagsten med nye end at udtage mursten, mørtel og pudsoverflader fra murværk. Projektet har derfor fået fokus på de organismer som kan vokse på tagsten. For en lang række af organismene gælder det dog at de også er identificeret på murværk, og der er ingen grund til at mene, at viden hentet fra undersøgelser af tagsten ikke i stor udstrækning kan overføres til murværk.

Da der ikke er konstateret svampe på tagstenene har undersøgelser af svampe dog kun fået en beskedent andel af projektet. Svampe er især konstateret på malede og pudsede facader hvorfra det i indeværende projekt kun har været muligt at få enkelte prøver til nærmere undersøgelse. Derfor er der i følgende afsnit draget meget få konklusioner vedr. afgørende parametre for svampe.

Typer af vækst

Projektet har givet et grundigt kendskab til hvilke organismer, der bevoxer murværk, tegl og betontagsten. Der er udarbejdet et farvekatalog der beskriver de identificerede arter. Derudover indeholder kataloget nøgler der kan anvendes til identifikation af organismene.

Arbejdet med identifikation af de forskellige organismer har afsløret en særdeles stor artsrigdom på et relativt lille materiale. Ved arbejdet er dog også konstateret, at de mest almindelige arter med størst dækningsgrad blev gengangere, hvilket betyder at kataloget efter vort skøn vil være et brugbart redskab fremover. En så omfattende undersøgelse over hvilke organismer vi finder på danske materialer har ikke eksisteret tidligere. Undersøgelsen skønnes endvidere at have europæisk interesse.

Der er identificeret 26 arter af laver, 5 arter af alger, 8 arter af mosser og 3 arter af svampe.

De alger der findes på murværk, tegl- og betontagsten tilhører gruppen af luftalger, dvs. de spredes via luften.

Der synes at være en tendens til at endolithiske laver (laver der vokser ned i sten-substratet) under normale forhold foretrækker beton og mørtel og ikke i samme grad trives på rødt tegl. Teorien er dog usikker, da vurderingen af om *Physcia caesia* - en på tegl almindeligt forekommende lav - er epilithisk (laver der vokser ovenpå stensubstratet), er foretaget på baggrund af et enkelt tyndslib. Teorien bør undersøges nærmere ved fremtidige undersøgelser af begroede materialer.

Det øgede kendskab til hvilke organismer, der bevoxer murværk, tegl og betontagsten, øger forudsætningen for at forstå:

- evt. nedbrydningsmekanismer på murværk, tegl og beton
- spredningsmekanismerne
- effekt/manglende effekt af rensning
- behovet for forebyggelse
- at udvikle relevante testmetoder
- at yde en bedre og mere kvalificeret rådgivning

For branchen betyder det, at der nu er bedre mulighed for at undersøge en lang række faktorer herunder:

- om misfarvninger skyldes kemi eller biologi
- om årsagen kan tilskrives materiale, konstruktion, udførelse eller miljø
- hvordan vækst kan forebygges og bekæmpes

Betydende vækstparametre

Generelt fra litteraturen vides, at tre faktorer skal være opfyldt for at en organisme kan etablere sig på et materiale:

1. en overflade, som organismen kan forankre sig til
2. tilstrækkelig næring til udvikling og vækst
3. tilstrækkelig vand til at forsyne de fysiologiske funktioner og i mange tilfælde deres formering og spredning (cyanobakter (svovlbakterier), alger, mosser og laver). Fugtigheden bestemmer kinetikken, biomassen og vegetationens sammensætning.

Substrats indhold af næringsstoffer, fugtforhold og pH er parametre som er betydende for floraens sammensætning. Andre faktorer som frost, forurening, lys og temperatur samt materialets karakteristisk og deres indbyrdes påvirkninger er også vigtige.

Forekomst af vækst på materialer

I farvekataloget er der i så vid udstrækning som muligt redegjort for hvilke materialetyper de specifikke organismer er identificeret på i indeværende projekt samt hvilke materialetyper organismerne iht. øvrig litteratur foretrækker.

På betontage og mørtel ses generelt mere lavvækst end på tegl. Nogle arter af lav er dog også helt almindelige at finde på tegl - f.eks. ses den sølvgrå lav *Physcia caesia* hyppigt. Artsdiversiteten af laver på betontage er dog generelt meget større, og ofte er laverne den dominerende vækst på betontage. På betontage er den orange lav *Xanthoria parietina* ofte meget dominerende i det overordnede synsindtryk af væksten.

På tegltage ses alger hyppigere som den dominerende vækst, men jævnligt med spredte lavpuder. Der er dog også i projektforløbet set tegltagsten der har været helt tilgroet med lavvækst.

Mos ses hyppigst i overlag mellem tagsten samt på endeflader, hvor der er større ruhed og dermed bedre vedhæftning. Derudover ses mos hyppigt i mørtelfuger, ofte med udspring i fin revne mellem sten og fuger. På betontagsten er der dog også set eksempler på at mos har fået vedhæftning i overfladen af betonen. Dette er ikke set på tegl.

På murværk er der både identificeret alger, lav, mos. Lav- og mosvæksten udgår ofte fra mørtelfugerne, hvorfra de breder sig udover byggestenene.

Svampe er identificeret på pudsede og/eller malet murværk. Som tidligere nævnt er der dog ikke i projektet fokuseret ret meget på disse, og yderligere undersøgelser ville sandsynligvis resultere i identifikation end langt flere end de 3 arter vi har fundet.

Afgørende materialeegenskaber

Følgende materialeparametre er undersøgt:

- porøsitet
- pH
- densitet
- vandoptagelse
- fordampningshastighed
- næringsstoffer
- overfladens ruhed

pH

Undersøgelserne viser at pH har betydning for arten af vækst der forekommer på materialerne. Undersøgelsen tyder ligeledes på, at pH måske kan have indflydelse på hvor hurtigt der vokser grønalger på materialerne. De fleste af de identificerede lavarter foretrækker tilsyneladende et pH over ca. 9.

Densitet og vandoptagelse

Densitet og vandoptagelse har ingen entydig indflydelse på forekomst af vækst.

Fordampningshastighed

For teglsten er det et velkendt fænomen at evnen til at afvise vand først indtræder efter en vis periode efter oplægning. Denne ændring af stenen må forventes også at kunne have en indflydelse på vandets fordampningshastighed fra stenene. Derfor kan man ikke umiddelbart udfra undersøgelser af nye sten afrapportere den reelle vandfordampningshastighed efter oplægning. Fordampningshastigheden af nyproducerede sten kan derfor ikke umiddelbart anvendes til at vurdere materialets tilbøjelighed til at blive begroet.

Sammenlignende bestemmelser af fordampningshastigheden har overraskende vist, at sten med kraftig vækst har højere fordampningshastighed end sten med svag vækst. Undersøgelserne har alene omfattet sten med vækst af alger og lav.

Næringsstoffer

Materialernes indhold af næringsstoffer vurderes at være af underordnet betydning for forekomsten af vækst. Derimod vurderes det at spille en afgørende rolle, hvilken næring der bliver tilført fra rensningsmidler, forudgående vækst, biologiske aflejringer fra dyr og planter mv. De materialer der er omfattet af indeværende projekt indeholder generelt ikke stoffer som kan forventes at være giftige overfor biologisk vækst. Undersøgelsen har dog ikke omfattet malinger, glasurer og andre overfladebehandlinger i tilstrækkelig grad til at konkludere noget om betydningen af næringsstoffer i disse.

Overfladens ruhed

Overfladens ruhed har vist sig at have betydning for hvor hurtigt og hvor kraftig begroning der kommer på materialet. Når alt andet er lige, vil materialer med ru overflade blive mest begroet. Glatte overflader kan dog også sagtens med tiden blive begroet hvis øvrige betingelser er hertil, men begroningen vil typisk være forsinket i forhold til tilsvarende materialer med ru overflade. Overfladens ruhed har betydning for hvilke arter af vækst der har mulighed for at vokse på materialet.

Overfladeruheden vil ændres med tiden særligt for cement og kalkholdige materialer bl.a. pga. påvirkning fra sur regn

Porøsitet

For tegl kan det ikke udelukkes at porøsiteten, udtrykt ved mængden af luft har indflydelse på forekomst af vækst. De gennemførte mikroanalyser af tyndslib viser et højere luftindhold i materialet i områder med kraftig vækst end i områder med ringe vækst. Hvor luftporer ligger meget tæt på overfladen ses nedtrængning af vækst i disse.

For beton synes porøsiteten, udtrykt ved indholdet af luftporer, ikke at have indflydelse på forekomst af vækst. Hvor der forekommer vækst ses der dog nedtrængning i porer meget tæt på overfladen (0,5 mm fra denne).

På malede overflader ses hovedsageligt vækst, hvor malingen er nedbrudt/gennembrudt. I disse områder ses nedtrængning langs sten tæt på overfladen. Det er ikke muligt at afgøre, om det er væksterne der gennembryder malingen, eller om de trænger ned, hvor malingen i forvejen er gennembrudt. Det kan dog ikke udelukkes, at væksten kan medvirke til nedbrydning af malingsslag, hvor underliggende porøsiteter giver svagheder i malingen.

Identificere afgørende konstruktionsforhold

Alle konstruktionsforhold der påvirker lys, varme og fugtforhold vurderes at være betydende for forekomsten af biologisk vækst. Desuden vurderes forhold, der påvirker vækstens mulighed for vedhæftning, at have en afgørende betydning, herunder særligt udformning af mørtelfuger, korrekt valg af mørtel til den givne konstruktion og evt. efterbehandlinger der påvirker overfladeruheden f.eks. ved igangsætning af forvitring.

I projektet er der set nærmere på følgende forhold:

- Geografisk placering og orientering
- Tagudhæng
- Taghældning
- Undertag
- Tagventilation
- Opstigende grundfugt
- Defekter (utætte nedløbsrør mv.)
- Fugeudformning
- Mørtelkvalitet

Virkingen af den biologiske vækst på materialerne/skadestyper

Der er generelt stor uenighed om, hvilken virkning biologisk vækst har på materialerne og hvorvidt biologisk vækst kan være årsag til betydende nedbrydning af byggematerialer. I afsnit 9 "Skadestyper" er der redegjort for så-

vel resultater af egne undersøgelser samt lavet en gennemgang af relevante undersøgelser fra litteraturen.

Indtrængning i materialet, skader pga. syreudskillelse

I forbindelse med tyndslibsundersøgelserne er der også set lidt på, hvor langt ind i selve materialet den biologiske vækst er konstateret. Der er kun set op til ca. 0,5 mm's indtrængning af vækst. Som beskrevet tidligere skelnes der mellem epilithiske og endolithiske laver hvor de endolithiske laver kan vokse ind i selve stenmaterialet. Udbredelsen af de endolithiske laver på de sten der har været udvalgt til tyndslibsundersøgelserne har dog været så beskedne, at kun på 3 slib vurderes slibet at være lagt igennem en endolithisk lav, og der har i intet af tilfældene været tale om en meget kraftig begroning.

I litteraturen (jf. afsnit 9) kan man dog finde mange artikler der mener at kunne konkludere, at biologisk vækst er årsag til nedbrydning af materialer. Med den dokumentation, der foreligger for forskellige kemisk/biologiske processer, er der nok ingen tvivl om, at væksten kan igangsætte en række af forskellige nedbrydningsprocesser. Ofte omhandler de nævnte artikler dog undersøgelser af historiske monumenter med en væsentligt højere alder end det man normalt vil betragte som materialernes forventelige levetid. Mange af artiklerne omhandler vækst på sandsten og/eller kalksten som ikke er omfattet af indeværende projekt.

På baggrund af indeværende projekts undersøgelser vurderes det, at de biologiske nedbrydningsprocesser igangsat af organismernes udskillelse af syrer, under normale omstændigheder ikke vil have indflydelse på materialernes konstruktive levetid.

Mekaniske løft

Ved kraftig mospudedannelse på tage i overlap mellem sten kan det ikke udelukkes at mosset kan bevirke indtrængning af vand ved opstemning af vand eller evt. ved løft af stenene.

Ændret fugtafgivelse

Det påstås ofte at væksten holder på fugten og forsinker fordampningen fra materialerne.

Indeværende projekts undersøgelser af fordampningshastighed har dog vist ved målinger på 5 sæt af sammenlignelige prøver, at der kan konstateres øget fordampning ved øget vækst. Det skal dog her igen understreges, at der kun er udført målinger med vækst af alger og lav. Undersøgelsen giver således ingen oplysninger om, hvorledes fordampningshastigheden påvirkes af kraftig mospvækst.

Der er således intet der på baggrund af disse undersøgelser tyder på, at øget vækst af alger og lav giver anledning til større fugtophobning med større risiko for frostsprængninger til følge.

Betydning for overfladebehandlinger

I forbindelse med vedhæftning af overfladebehandlinger (maling, kalk mv.) er der i projektforløbet set eksempler, hvor den biologiske vækst er vurderet som en medvirkende årsag til dårlig vedhæftning og afskalning af overfladebehandlingerne. I forbindelse med ny overfladebehandling vurderes det derfor relevant at foretage grundig afrensning af konstruktionen for at hindre dårlig vedhæftning og afskalning.

På baggrund af mikroanalyse af tyndslib af malede betontagsten kan det ikke udelukkes at vækst i nogle tilfælde kan medvirke til nedbrydning af malingslag der hvor underliggende porøsitet giver svagheder i malingen. Det formodes dog, at denne nedbrydning er meget langsom og sjældent vil være den udslagsgivende årsag til afrensning og nymaling.

Ændret æstetisk indtryk i form af lokal vækst/farveændringer/misfarvninger, betragtes af mange som en skade. Om vækst opfattes som en misfarvning eller en uønsket ændring af konstruktionens æstetiske udseende er naturligvis en meget subjektiv vurdering. Tilsvarende er det en meget subjektiv vurdering, om en æstetisk ændring betegnes som en decideret skade.

Potentielle rensmidler/metoder

Der er i projektet gennemført forsøg med hedvandsrensning med 2 forskellige tryk og temperaturer. Metoden viste at det var muligt at fjerne den synlige vækst men for alle afprøvede kombinationer af de 2 tryk og 2 temperaturer skete der synlig skade på overfladen af materialet. Ca. 6 måneder efter afrensning kunne der atter konstateres synlig vækst på stenene.

Forsøgene er detaljeret afrapporteret i delrapporten. "Udvikling og afprøvning af testmetoder".

Øget kendskab til arterne af vækst har givet større muligheder for at vurdere risici ved forskellige afrensningsmetoder:

- Ved mekaniske afrensninger kan der være risiko for at man ved ufuldstændig afrensning snarere spreder organismene i stedet for at fjerne dem. Umiddelbart vil fladen måske syne ren, men er der aflejret små spredningsenheder overalt i materialets porøsiteter vil ny vækst hurtigt genopstå.
- Ved vækst af endolithiske laver, der vokser ned i materialerne, kan det ved mekanisk rensning være umuligt at fjerne alle organismer uden at ødelægge materialernes overflade.

Risici

Ved udvikling og vurdering af enhver rensmetode bør det nøje overvejes hvilke risici metoden indebærer for materialet. I delrapport 1 er der for de enkelte midler og metoder, der er set anvendt, givet en kort gennemgang af de risici de enkelte midler/metoder kan indebære. I indeværende delrapport er listet en række punkter, der som et minimum bør overvejes inden en afrensning igangsættes.

Summary and conclusions

Background for the project

It is not unusual to see roofs and walls, which are green with algae or patterned by yellow, grey, and black lichens. In the light of the existing knowledge, it is likely that some organisms cause more damage than others, but to achieve more knowledge of how and where very different organisms cause damage, it is necessary to have a more thorough knowledge of which organisms are relevant.

Better knowledge of the organisms and their preferred growing conditions will improve the possibilities to prevent unwanted growth.

Purpose

The purpose of the project phase "Investigations of growths" is to

- identify different types of growth
- identify significant growth parameters
- identify how growth occurs on the materials
- describe the effect of the biological growth on the materials
- identify relevant material characteristics
- identify relevant construction conditions
- survey and evaluate types of damage
- identify potential detergents/methods

The above knowledge will contribute to describing the applied and potential preventives.

A distinction must be made between the possibilities in the following categorized life-cycle phases:

- extraction of raw materials
- production
- construction
- construction/execution
- use/maintenance

This part will not be reported until the final report on conclusion of the project phase: "Proposal for plans of actions".

Definition and approach

In the project the term "biological growth" is used as a common term for

- bacteria
- algae
- fungi
- lichens

- mosses

Higher plants such as facade plantings are not covered by this project. The project only includes organisms that grow in Denmark on the materials below:

- masonry materials including
 - bricks
 - calcium silicate bricks
 - granite/gneiss
 - masonry mortar
 - rendering mortar
 - whitewashed masonry surfaces
 - painted masonry surfaces
- clay tiles
- concrete tiles

Special focus is on bricks, clay tiles and concrete tiles. The project distinguishes between the following life cycle phases for masonry and roofs:

Extraction of raw materials

Production of building materials

Design

Construction/Execution

Use/maintenance

Demolition – Recycling/reuse

This project is based on the examples of growth found during the course of the project. Thus the examination differs from a number of the related examinations described in literature. These usually deal with selected materials that have been laid out for exposure in natural conditions or in the laboratory.

The primary advantage of the approach of this project is that the survey/knowledge of the growths, which can be found on relevant materials, becomes more substantial, as no limitations have been made in exposure conditions or age of the materials.

The disadvantages of the approach are that there are many different variables to relate to (age, geography, exposure conditions, etc.).

As the knowledge of the sorts of growth on masonry, clay, and concrete tiles was very modest at the start of the project - no results of similar examinations are available - the project group judged the advantages of the chosen approach to be bigger than the disadvantages.

Conclusion

Introduction

As described earlier, the project is based on the examples of growth found during the course of the project. Setting priorities for examinations and relationships has partly been dictated by the combinations of growth and material we have been able to examine more closely.

During the course of the project it was soon apparent that it was easier to get permission to exchange overgrown roofing tiles with new ones than to take

samples of bricks, mortar and rendered surfaces from masonry. Therefore the project has focused on the organisms which are able to grow on roofing tiles.

A large number of the organisms identified on this substrate, however, also occur on masonry, and there is no reason to believe that knowledge gained from examinations of roofing tiles cannot to a large extent be transferred to masonry.

As no fungi have been recorded on roofing tiles, examinations of fungi have only been given a modest part of the project. Fungi have especially been found on painted and rendered surfaces from which it has only been possible to get a few samples for closer examination in this project. Therefore very few conclusions have been made in the following paragraphs with decisive parameters for fungi.

Types of growth

The project has provided thorough knowledge about which organisms grow on masonry, clay, and concrete tiles.

A colour-coded catalogue, which describes the identified species, has been prepared. In addition the catalogue contains keys for identification of the organisms.

The work on identifying the different organisms has revealed an extremely large richness of species on a relatively modest material. The work also showed that the most common species, with the largest coverage, were repeatedly found, which means that, in our opinion, the catalogue will be a useful tool in the future. Such a comprehensive examination of organisms found on Danish materials did not previously exist. The examination is thought to be of European interest.

26 species of lichens, 5 species of algae, 8 species of mosses and 3 species of fungi have been identified. The algae found on masonry, clay and concrete tiles belong to the group of aerial algae i.e. they are spread through air.

There seems to be a tendency that endolithic lichens (lichens that grow down into the brick or tile medium) under normal conditions prefer concrete and mortar and do not thrive to the same extent on red clay bricks or tiles. The theory is however uncertain, as the estimate of whether *Physcia caesia* - a lichen of common on clay bricks or tiles - is epilithic (lichens that grow on the surface of the brick medium) has been made on the basis of a single, thin section. The theory should be examined more closely in future examinations of overgrown materials.

The increased knowledge of which organisms grow on masonry, clay and concrete tiles, increases the basis for understanding:

- The demolition mechanisms on masonry, clay bricks of tiles and concrete, if any
- The mechanisms spreading the organisms
- The effect/lack of effect of cleaning
- The need for prevention of growth
- How to develop relevant test methods
- How to give a better and more qualified guidance

To the trade, this means that there is now a better possibility to examine a series of factors including:

- whether discoloration is due to chemistry or biology
- whether the cause of growth is the material, construction, execution, or environment
- how growth can be prevented and combated.

Important growth parameters

Generally it is known from literature that three factors must be fulfilled for an organism to establish itself on a material:

a surface to which the organism can be root itself

sufficient nourishment for evolution and growth

sufficient water to supply the physiological functions and in many cases their formation and spreading (cyanobacter (sulphur bacteria), algae, mosses and lichens). The moisture decides the composition of kinetics, biomass, and vegetation.

The content of the nutrient of the medium, moisture conditions, and pH are parameters important to the composition of the flora. Other factors, such as frost, pollution, light, and temperature, as well as the characteristics of the material, and their mutual influence are also important.

Occurrence of growth on materials

As far as possible, a review has been made in the colour-coded catalogue of the material types on which the specific organisms have been identified in this project and of which material types the organisms prefer according to literature.

On concrete roofs and mortar there are generally more lichens than on clay bricks and tiles. Some species of lichens are, however, also quite common on clay bricks and tiles - for example the silver-grey lichen *Physcia caesia* appears frequently. The diversity of species of lichens on concrete roofs is, however, generally much larger, and often the lichens are the dominant growth on concrete roofs.

On concrete roofs, the orange lichen *Xanthoria parietina* is often very dominant in the overall visible impression of the growth.

On clay roofs, algae are more frequently the dominant growth, but often with scattered lichen pads. However, in the course of the project clay tiles have been seen completely overgrown by lichens.

Mosses most frequently appear between tiles, as well as on base surfaces, where the roughness is larger and thus provides a better attachment. In addition mosses frequently appear in mortar joints, often originating in a thin crack between brick and joint. On concrete tiles, examples have also been seen where mosses have become attached to the surface of the concrete. This has not been seen on clay tiles.

On masonry algae, lichens and mosses have been observed. The lichen and moss growth often originates in the mortar joints, from where they spread over the bricks.

Fungi have been identified on rendered and/or painted masonry. However, as mentioned earlier, we did not focus on these, and further examination would probably result in identification of many more than the 3 species we have found.

Decisive material characteristics

The following material parameters have been examined:

- porosity
- pH
- density
- water absorption
- rate of evaporation
- nutrients
- surface roughness

pH

The examinations show that pH has importance to the species of growth that appear on the materials. The examination also indicates that pH may have an influence on how quickly green algae grow on the materials. Most of the identified lichen species apparently prefer a pH above approx. 9.

Density and water absorption

Density and water absorption has no clear influence on growth.

Rate of evaporation

To clay bricks it is a well-known phenomena that the water-repelling ability does not commence until after a certain period after roofing. This change in the tile can also be expected to have an influence on the rate of evaporation of water from the bricks. Therefore, from examinations of new bricks, it is not possible to report the actual rate of evaporation after roofing.

The rate of evaporation of newly produced bricks cannot immediately be used to assess the tendency of the material to become overgrown. Comparative determinations of the rate of evaporation surprisingly showed that bricks with rapid growth have a higher rate of evaporation than bricks with weak growth. The examinations only covered bricks with growth of algae and lichens.

Nutrients

The content of nutrients in the materials is assessed to be of secondary importance to the occurrence of growth. However, the kind of nutrient emitted from detergents, previous growth, and biological deposits from animals and plants etc. are considered important. The materials covered by this project do not generally contain agents which can be expected to be poisonous to biological growth. The examination, however, did not extensively cover paints, glazing and other surface treatments. Therefore it has not been possible to conclude anything about the importance of such nutrients.

Surface roughness

The surface roughness is important for how quickly growth appears on the material. Materials with a rough surface will be overgrown at the most. However, in the course of time smooth surfaces can become overgrown, if other conditions are present, but growth will typically be delayed compared to similar materials with a rough surface.

The surface roughness is of importance to the kind of species that may overgrow the material.

Surface roughness will change over the course of time, especially for cement and lime calcareous materials, for example due to effects from acid rain.

Porosity

For clay bricks and tiles it seems that porosity, expressed as the amount of air, has a certain influence on growth. The microanalyses carried out from thin sections show a higher air content in the material in areas with rapid growth than in areas with weak growth. Where air pores lie very close to the surface penetration into these can be seen.

With regard to concrete, porosity (expressed in content of air pores) does not seem to have an effect on the occurrence of growth. However, where growth occurs penetration into the pores very close to the surface (0.5 mm from this) can be observed.

On painted surfaces growth occurs mainly where the paint has been decomposed/penetrated. In these areas penetration is observed along bricks/tiles close to the surface. It is, however, not possible to decide if the growths burst through the paint or if they penetrate where the paint has already been burst. It is possible that growth may contribute to decomposition of the paint layer, where underlying porosities cause weaknesses in the paint.

Identify decisive construction properties

All construction properties that affect light, warmth, and moisture conditions appear to be significant to the occurrence of biological growth. Furthermore properties that affect the possibility of attachment from the growth seem to be extremely important, especially the design of mortar joints, the proper choice of mortar for the given construction, and any finishing treatments that might affect the surface roughness, for example when crumbling starts.

In the project the following aspects have been subject to closer examination:

- Geographic location and orientation
- Roof eaves
- Roof slope
- Underroof
- Roof ventilation
- Rising soil moisture
- Defects (leaky drainpipes etc.)
- Design of mortar joints
- Quality of mortar

Effect of the biological growth on materials/damage types

There is general disagreement on the effect of biological growth on the materials and to what extent biological growth can cause significant deterioration of building materials. In paragraph 9 "Types of damage", an account has been given of the results of our own examinations, as well as an exposition of relevant examinations from literature.

Penetration into the material, damage due to acid liberation

In connection with the microscopic investigations of thin sections, a study was also made of how far into the actual material the biological growth can be detected. Only up to 0.5 mm penetration of growth has been recorded. As described earlier a distinction was made between epilithic and endolithic lichens, where endolithic lichens are able to grow into the actual tile material. However, the extension of the endolithic lichens on the tiles chosen for the microscopic investigation of thin sections has been modest. Only at 3 microscopic investigations of thin sections has the microscopic investigation been laid through an endolithic lichen, and in none of these cases was the growth very strong.

In literature (cf. clause/paragraph 9) it is possible to find many articles that conclude that biological growth is the cause of deterioration of materials. With the documentation that is available for different chemical/biological processes there is no doubt that the growth can start a number of different deterioration processes. However, the articles mentioned often deal with examinations of historical monuments of a much greater age than would normally be expected for buildings. Many of the articles deal with growth on sandstone and/or limestone, neither of which has been included in this project.

On the basis of the results of this project it is estimated that under normal conditions the biological deterioration processes that have been started by the acid liberation of the organisms, will have no influence on the life of the materials.

Mechanical lifts

In the case of heavily developed moss pads on roofs in overlaps between tiles it is possible that moss may cause penetration of water by damming water or possibly by lifting the tiles.

Change of liberation of water

It has often been stated that the growth retains moisture and delays evaporation from materials. However, the examinations of the rate of evaporation in this project have shown that, in measurements of 5 sets of comparative samples, increasing evaporation has been measured with increasing growth. However, it must be emphasised that only measurements with growth of algae and lichens have been carried out. The examination gives no information as to how the rate of evaporation is affected by rapid growth.

Thus there is nothing in the light of these examinations that indicates that increasing growth of algae and lichens results in larger accumulation of moisture with larger risk of frost peeling.

Importance to surface treatments

In connection with adherence of surface treatments (paint, lime, etc.) examples were noticed during the course of the project, where the biological growth is estimated as a contributor to poor adherence and peeling of the surface treatments.

Therefore, for new surface treatment it seems relevant to carry out thorough cleaning of the construction to prevent poor adherence and peeling.

On the basis of microscopic investigations of thin sections of painted concrete tiles it is possible that in some cases growth may contribute to deterioration of paint layers in places where underlying porosity results in weaknesses in the

paint. However, it can be assumed that this deterioration is very slow and will hardly be the decisive cause of a need to clean and repaint.

Many people consider a change in the aesthetic impression in the form of local growth/colour changes/discoloration as damage. It is naturally very subjective whether growth is considered as discoloration or an undesirable change of the aesthetic appearance of the construction. Similarly, it is subjective if an aesthetic change can be characterised as actual damage.

Potential cleaning agents/methods

In the project, tests have been carried out with hot-water cleaning using 2 different pressures and temperatures. The method showed that it was possible to remove the visible growth, but for all tested combinations of the 2 pressures and 2 temperatures there was visible damage to the surface of the material. Approx. 6 months after cleaning took place, visible growth appeared again on the tiles.

The tests have been reported in detail in the subreport "Development and testing of test methods".

Increasing knowledge of the species of growth has provided greater opportunity to estimate the risks of different cleaning methods:

- By using mechanical cleaning there may be a risk of spreading the organisms through incomplete cleaning, instead of removing them. The surface may appear clean, but if small endospores are deposited throughout the porosities in the material, new growth will soon emerge again.
- For growth of endolithic lichens down into the materials, it may be impossible to remove all organisms by mechanical cleaning without destroying the surface of the materials.

Risks

When developing and assessing any cleaning method, there should be careful consideration of the risks the method implies for the material. In subreport No. 1, a short review is given of the risks that each method may imply. This subreport also lists a number of items which should be considered before cleaning is started.

1 Indledning

1.1 Baggrund

Det er ikke ualmindeligt at se tage og mure, der er mere eller mindre grønne af alger eller mønstrede af gule, grå og sorte laver. På baggrund af den eksisterende viden er det sandsynligt, at nogle organismer skader mere end andre, men for at få mere viden om hvordan og hvor meget forskellige organismer kan skade er det nødvendigt med et grundigere kendskab til, hvilke organismer der er tale om.

Ved større kendskab til organismene og deres foretrukne vækstbetingelser øges mulighederne for at forebygge uønsket vækst.

Projektet er en naturlig fortsættelse af projekterne:

- "Renere Teknologi i Tegl- og Mørtelbranchen", ref. M. 128-0772.
- "Undersøgelser af 2-Deoxy-D-glycose som aktivstof i bekæmpelsesmidler til byggematerialer, del 2, Midler til bekæmpelse af biokorrosion af bygningfacader - en litteraturgennemgang.

1.2 Afgrænsning

I projektet anvendes betegnelsen "biologisk vækst" som en fællesbetegnelse for

- bakterier
- alger
- svampe
- laver
- mosser

Højere planter og facadebeplantninger er ikke omfattet af projektet.

Projektet omfatter alene de organismer, der kan vokse på de nedenfor nævnte materialer i Danmark:

- murværksmaterialer inkl.:
 - teglsten
 - kalksandsten
 - natursten
 - muremørtel
 - pudsmørtel
 - kalkede murværksoverflader
 - malede murværksoverflader
- tegltagsten
- betontagsten

Der fokuseres dog især på mursten, tegltagsten og betontagsten.

I projektet skelnes mellem følgende livscyklusfaser for murværk og tage:

1. Udvinning af råvarer
2. Produktion af byggematerialer
3. Konstruktion
4. Opførelse/Udførelse
5. Brugsfase/Vedligeholdelsesfase
6. Nedrivning - Genanvendelse

I indeværende projekt er det valgt at tage udgangspunkt i de eksempler på vækst der er fundet i projektforsøget. Undersøgelsen adskiller sig således fra en række af de i litteraturen beskrevne beslægtede undersøgelser. Disse omhandler oftest udvalgte materialer der er udlagt til eksponering i natur eller laboratorium under mere eller mindre velkarakteriserede betingelser.

Den primære fordel ved indeværende projekts angrebsvinkel vurderes at være, at overblikket/kendskabet over de vækster der kan træffes på de relevante materialer bliver større, da der ikke er indlagt begrænsninger i eksponeringsforhold eller alder på materialerne.

Ulemperne ved angrebsvinklen er, at der er mange forskellige variable at forholde sig til (alder, geografi, eksponeringsforhold, mv.).

Da kendskabet til arterne af vækst på murværk, tegl- og betontage ved projektets begyndelse var meget beskedent - der foreligger ingen resultater af lignende undersøgelser - har projektgruppen vurderet, at fordelene ved den valgte angrebsvinkel er større end ulemperne.

1.3 Kilder

Oplysninger er hentet fra

- undersøgelser af eksisterende konstruktioner med biologisk vækst
- erfaringsopsamling fra tidligere kundeopgaver
- leverandører/producenter af murværksmaterialer, tagmaterialer, overfladebehandlingsmidler mv.
- rensfirmaer
- litteratur (tekniske biblioteker og Internet).

En række af danske og internationale producenter, forskningsinstanser o.lign. er kontaktet med henblik på udnyttelse af relevant viden fra beslægtede internationale projekter. Listen over kontaktede kilder er opført i afsnit 14: "Referencer".

Som en selvstændig del af projektfasen "Undersøgelser af forekomster" er der udarbejdet et katalog "Bevoksning på murværk, tegl- og betontage". Kataloget er udarbejdet i samarbejde med Københavns Universitet, Botanisk Institut og udsendes som et tillæg til indeværende delrapport.

2 Formål

Formålet med projektfasen "Undersøgelser af forekomster" er at

- identificere de forskellige typer af vækst
- identificere betydende vækstparametre
- identificere hvorledes væksten forekommer på materialerne
- beskrive virkningen af den biologisk vækst på materialerne
- identificere relevante materialeegenskaber
- identificere relevante konstruktionsforhold
- kortlægge og vurdere skadestyper
- identificere potentielle rensmidler/metoder.

Ovenstående viden skal bidrage til at anvendte og potentielle forebyggelsesmidler/metoder kan beskrives.

Der skal skelnes mellem muligheder i følgende opdelte livscyklusfaser:

- Udvinning af råvarer
- Produktion
- Konstruktion
- Opførelse/Udførelse
- Brugsfase/vedligeholdelsesfase

Denne del rapporteres dog først i hovedrapporten som afslutning på projektfasen: "Oplæg til handlingsplaner".

3 Målgruppe

Projektet henvender sig til

- myndigheder
- amter og kommuner
- private husejere
- boligselskaber
- udførende rensfirmaer, malermestre, murermestre mv.
- rådgivere
- bygherrer
- producenter af byggematerialer

med andre ord, alle der i bredeste forstand arbejder med tegl-, mørtel og betonmaterialer.

4 Aktiviteter

4.1 Litteraturstudie

Søgning via Internet og tekniske biblioteker mv.

4.2 Erfaringsopsamling

Erfaringsopsamlinger er sket gennem følgende aktiviteter:

- Gennemgang af Teknologisk Instituts tidligere relevante kundeopgaver og projekter
- Orienterende søgning i huseftersynsordningens database (Teknologisk Institut, Produktivitetscentret)
- Kontakt til internationale producenter, forskningsinstanser mv.

4.3 Besigtigelser/registreringer

Konsulenter fra Teknologisk Institut har foretaget undersøgelser i forbindelse med løbende kundehenvendelser og besigtigelser. I den forbindelse er der udarbejdet et besigtigelseskema, bilag 3, som er blevet udfyldt for hver sag. Hvor det har været muligt er der udtaget prøver til nærmere undersøgelse. Der er ligeledes taget fotos af relevante materialer og konstruktioner med biologisk vækst.

4.4 Enkel tstående besigtigelser/undersøgelser

Der er gennemført besigtigelser/undersøgelser af ca. 50-60 begroede konstruktioner. Hvor det har været muligt er der udtaget materiale og/eller vækstprøver til nærmere undersøgelser i laboratorium.

4.5 Områdebesigtigelse/undersøgelse

Et udvalgt lokalområde er nærmere undersøgt. I områdeundersøgelsen indgår i alt 7 huse, 4 med betontag og 3 huse med tegltage. Hvor det har været muligt er der udtaget materiale og/eller vækstprøver til nærmere undersøgelser i laboratorium.

4.6 Biologiske undersøgelser af udtagne materiale- og vækstprøver

Udtagne materialeprøver med biologisk vækst og prøver af vækst uden materialeunderlag er undersøgt på laboratorium i stereomikroskop og almindeligt lysmikroskop. Til identifikation er brugt relevant litteratur, se litteraturliste. Laboratorieundersøgelserne er foretaget henholdsvis på Teknologisk Institut og på Københavns Universitet, Botanisk Institut ved stud. scient. Line Bal Schmidt. Assisterende professor Ulrik Søchting har bistået.

Undersøgelsen har resulteret i udarbejdelsen af et særskilt farvekatalog med identifikationsnøgle til de arter, der er konstateret. Farvekataloget er senere anvendt ved de løbende besigtigelser og eventuel nærmere identifikation er foretaget af Teknologisk Institut.

På udvalgte hele tagsten er der foretaget en særlig undersøgelse af udbredelsen af de enkelte organismer med henblik på at få overblik over, hvilke organismer, der er dominerende.

For hver tagsten er udbredelsen vurderet i henhold til nedenstående skala:

- 1: <2%
- 2: 2-5%
- 3: 5-20%
- 4: 20-50%
- 5: >50%

4.7 Undersøgelser af udtagne materialeprøver

Udvalgte materialeprøver er undersøgt i laboratorium:

- Tyndslib er fremstillet af udsavede prøver, der imprægneres med epoxy, tilsat et fluorescerende farvestof og nedslibes til en tykkelse på ca. 0,02 mm. Et tyndslib dækker et areal på ca. 45 mm × 30mm. Tyndslib analyseres i polarisations- og fluorescensmikroskop.
- Følgende materialeparametre er undersøgt:
 - porøsitet
 - pH
 - densitet
 - vandoptagelse
 - fordampningshastighed
 - næringsstoffer
 - overfladens ruhed.

Materialeparametrene er vurderet i forhold til typiske variationer i parametrene for de relevante materialetyper. Parametrene er ligeledes vurderet i forhold til hvilke væksttyper, der er registreret på det aktuelle materiale.

5 Materialer

5.1 Indledning

Projektet omfatter følgende materialer:

- murværksmaterialer inkl.:
 - teglmursten
 - kalksandsten
 - natursten
 - muremørtel
 - pudsmørtel
 - kalkede murværksoverflader
 - malede murværksoverflader
- tegltagsten
- betontagsten

Der er i projektet dog især fokuseret på mursten, tegltagsten og betontagsten.

I dette afsnit gives en kort beskrivelse af de materialer, som projektet omfatter. Formålet med beskrivelsen er at give en overordnet forståelse for produktionsprocesser og materialeegenskaber.

5.2 Produktionsprocesser

5.2.1 Teglmursten og tegltagsten

Produktionen af teglprodukter varierer mellem forskellige produkttyper. I denne beskrivelse af produktionsprincipper skelnes mellem mursten og tagsten.

Alle tegltyper gennemgår de samme overordnede produktionsprincipper (blanding, formning, tørring og brænding).

Et typisk produktionsforløb er beskrevet nedenfor:

- Gravning og transport af ler
- Lagring af råler
- Blanding og sumpning
- Bearbejdning
- Formning
- Tørring
- Sætning på ovnsvogne
- Brænding
- Eventuel glasering af teglsten
- Eventuel produktion af tegloverligger
- Pakning og emballering

Gravning og transport af ler

Ler udvindes med gravemaskine og transporteres med lastbiler fra lergrav til produktionssted.

Lagring af råler

Ved værket sker oftest en udendørs (eventuel overdækket) lagring af råleret. Vognlæssene fordeles i lag, hvorved der opnås en opblanding og en lerkvalitet der er nødvendig for processen.

Hydratkalk anvendes som hjælpemiddel til stabilisering af råleret i våde perioder. Bariumkarbonat tilsættes for at neutralisere sulfat, så misfarvning af ste-noverflader undgås.

Råmaterialalets indhold af jern og kalk er afgørende for, om teglet bliver gult eller rødt. Der findes efterhånden teglsten i samtlige farvenuancer fra rød over rosé til gul.

Blanding og sumpning

Fra udendørs lager transporteres råleret til kasseføder. Denne transport foregår ofte med gravemaskine. Fra kasseføder føres råleret via transportbånd til lersumpen. Skal f.eks. to lertyper blandes benyttes to kassefødere - en til hver lertype - til opnåelse af det ønskede blandingsforhold. I lersumpen udlægges råmaterialerne efter forskellige blandingsprincipper, hvor størst mulig blanding tilstræbes.

Eventuel tilsætning af hydratkalk og bariumkarbonat/chlorid sker i denne del-proces.

Eventuel tilsætning af sand, chamotte og savsmuld sker enten kort før lersumpen, i lersumpen eller umiddelbart efter sumpen. Sand og chamotte tilsættes som magringsmiddel. Savsmuld tilsættes leret for at lette tørrings- og brændingsprocessen.

Bearbejdning

Fra lersumpen transporteres leret via transportbånd til kollergang og herfra videre til valseværk, hvor yderligere homogenisering af produktionsleret sker. Under bearbejdningen tilsættes eventuelle manganforbindelser. Manganforbindelserne anvendes i mindre mængder som farvestof.

Formning

Produktionsleret æltes i en forælter, hvorefter blandingen opvarmes til 30-45°C ved hjælp af en gasbrænder eller ved damptilsætning.

Mursten

Mursten formes enten i en blødstenspresse eller en strengpresse:

I en blødstenspresse trykkes leret ned i forme og derefter afsættes den formede sten på stålplader, på brædder eller lægter, som automatisk transporteres bort fra maskinen.

Maskinsten formes på en vakuum strengpresse. Strengpressen består af en ak-sel med en snegl, der er indesluttet i en cylindrisk kappe. Leret presses af sneglen frem mod udløbet, der er forsynet med et mundstykke, der bestemmer stenedes dimensioner, og eventuelt en indsats, der bestemmer hulud-formningen. Den sammenhængende lerstreng, der af sneglen presses ud af mundstykket, bliver på afskærerbordet skåret i sten.

Tagsten

Tagsten formes enten i en strengpresse eller i gipsforme.

Vingetagsten formes i en vakuum strengpresse efter samme princip som ved formning af maskinsten, dog uden indsats til huludformning. På afskærerbordet bliver lerstrengen skåret i tagsten og derefter afsættes stenen på lægter, som automatisk transporteres bort fra maskinen.

Falstagsten formes i gipsforme. I en dertil indrettet maskine trykkes leret som allerede er vakuumstrengpresset ned i en underform, hvorefter en overform presses ned mod underformen. Efter presningen afsættes den færdigpressede sten på lægter, som automatisk transporteres bort fra maskinen.

Herefter transporteres stenene til tørring.

Tørring

Tørring af sten foregår enten i tørrekamre eller i tunneltørring anlæg.

Tørringsprocessen styres ved regulering af luftmængderne i til- og afgangsspjældene og lufttemperaturen i tørreluften, således at optimalt tørringsforløb opnås. Nogle tørrekamre har installeret individuelle gasbrændere.

I et tørrekammer er stenene stationære. Her ændres luftmængde og -temperatur som funktion af tiden.

I et tunneltørringsanlæg er stenene mobile, og tunneltørreriet er inddelt i zoner med forskellige lufttilstande.

Sætning på ovnsvogne

Fra tørrekamre/tunneltørringsanlæg transporteres stenene til sættemaskinen, som sætter stenene på ovnsvogne i et forprogrammeret stablesystem.

Brænding

Umiddelbart før ovnen er der ofte placeret en forvarmer, hvor ovnsvognene holdes klar til indkøring i ovnen. Ovnsvognene køres ind i tunnelovnen. Styringen af brændingen sker via en PC. Toptemperatur og øvrige temperaturindstillinger afhænger af produkttype. Under brændingen foregår der i lermassen en række fysiske og kemiske processer, hvorved leret omdannes til tegl.

Brænding med underskud af ilt (reducerende brænding) kan bl.a. anvendes til at opnå farvespil.

Brændingsprocessen har stor indflydelse på teglets porøsitet. Poreforholdene er af afgørende betydning for de brændte produkters egenskaber mht. vandoptagelse og vandafgivelse.

Pakning og emballering

Fra ovnen transporteres stenene videre til aflæssermaskiner, hvor de aflæsses. Sten klar til salg palletteres og emballeres med krympeplast i en krympemaskine. Sten til eventuel glasering eller tegloverligger transporteres videre til respektive område.

Eventuel glasering

Stenene påføres den ønskede glasur, enten ved dypning eller sprøjtning, og transporteres herefter til tørring. Når glasuren er tør, brændes stenene på ny.

Eventuel produktion af tegloverligger

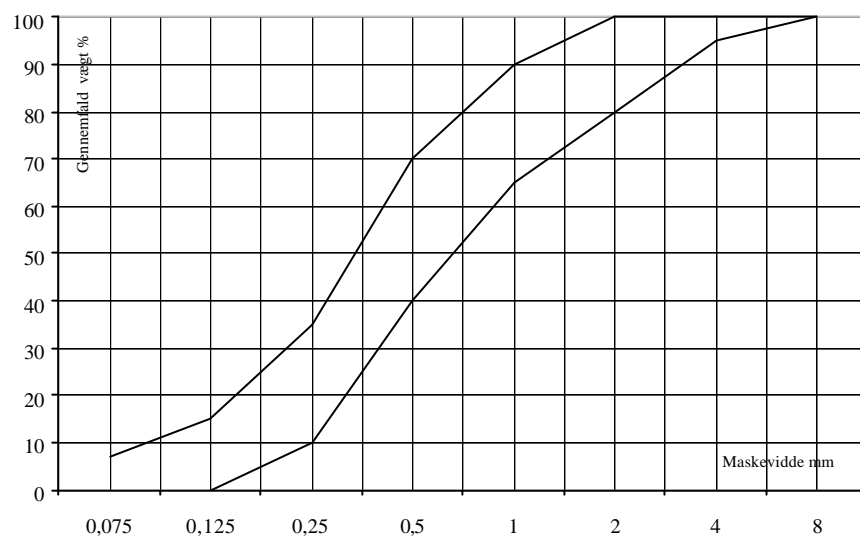
Teglsten udfræses. Stål lægges i de udfræsedes teglsten og mørtlen støbes ned i de udfræsedes sten og omkring stålet. Overliggeren hærder ved stuetemperatur.

5.2.2 Muremørtel og pudsmørtel

Mørtel er en blanding af uorganiske bindemidler, tilslagsmaterialer, evt. tilsætningsstoffer og vand. Bindemidlet er her i Danmark ofte en blanding af hydratkalk og cement eller udelukkende cement. Der er dog også mørtler baseret på en blanding af hydraulisk kalk og hydratkalk eller alene på hydratkalk. Tilslagsmaterialet er som regel sand.

Mørtlerne er porøse. Porøsiteten afhænger primært af tilslagets kornstørrelsesfordeling samt af bindemiddeltilsætningen.

Kornstørrelsesfordelingen for tilslag til muremørtler ligger typisk (men ikke nødvendigvis) inden for følgende grænsekurver, mens pudsmørtlers tilslag ofte vil være finere (og dermed have en højere gennemfaldsprocent på de groveste sigter).



Figur 5.1: Normkurvens grænser (DS 414)

Vådmørtel

Et typisk produktionsforløb kan skitseres som følger:

- Oplagring af råmaterialer
- Læskning
- Dosering og blanding

Oplagring af råmaterialer, læskning

Sand lagres i udendørs silo. Kalken modtages enten i form af brændt kalk eller som hydratkalk og lagres i lukkede siloer. Brændt kalk tilsættes den ønskede vandmængde til fremstilling af hydratkalk.

Dosering og blanding

Sand og hydratkalk doseres efter vægt og blandes. Vand tilsættes under blandingen.

Tørmørtel

Et typisk produktionsforløb kan skitseres, som følger:

- Oplagring af råmaterialer
- Dosering og blanding

Oplagring af råmaterialer

Sand lagres i udendørs silo. Kalken modtages i form af hydratkalk og lagres i lukkede siloer. Cement lagres i lukket silo.

Dosering og blanding

Sand, hydratkalk og cement doseres efter vægt og blandes. Eventuelle tilsætningsstoffer, farvestoffer og/eller filler iblandes.

5.2.3 Kalksandsten

I Danmark produceres udelukkende facadesten med tilslag af knust bjergartsmateriale og/eller brændt flint. Der skelnes mellem følgende produkttyper: mursten, skaller og petringer.

Produktionen kan skitseres, som følger:

- Oplagring af materialer
- Dosering af materialer
- Blanding
- Presning
- Stabling til autoklaver
- Autoklavering
- Halvfabrikatalager
- Evt. kløvning og savning af halvfabrikata

Oplagring af materialer

Sand graves fra egen grav og opbevares i åben silo udendørs. Knust bjergartsmateriale, brændt flint og brændt kalk opbevares ligeledes i lukkede siloer udendørs.

Dosering og transport af materialer

Sand, knust bjergartsmateriale og brændt flint doseres efter vægt og blandes. Kalk tilsættes, hvorefter blandingen føres via forælter og transport over i tvangsblender.

Blanding

Blanding foregår i en tvangsblender. Under blandingen tilsættes vand.

Presning

Via et bånd føres blandingen til pressen. Presningen er mekanisk presning og trykket styres ved strømeffekt.

Sætning og transport til autoklaver

Efter presning sættes stenene på vogne ved hjælp af en sættemaskine. Herefter køres vognene til autoklaver.

Autoklavering

Stenene køres ind i autoklaverne. Autoklaveringen sker ved en temperatur på ca. 200°C og et tryk på 15 atm. Hele processen tager ca. 8-10 timer. Her reagerer kalken med siliciumoxid i sandkornenes overflade og danner vandholdigt silikat. Den del af kalken, som ikke bindes, bliver efterhånden karbonatiseret af luftens kuldioxid.

Halvfabrikatalager

Efter autoklaven losses stenene automatisk over på træpaller og køres til uden-dørs halvfabrikatalager.

Evt. kløvning og savning af halvfabrikata

Halvfabrikata sættes på bånd og halveres ved kløvning i kløvemaskine. Petringer fremstilles ved savning. Specialsten forvandes. Efter kløvning og savning føres stenene via bånd til stablemaskine.

5.2.4 Natursten

Der fokuseres i projektet alene på granitter og gnejs. Granit/gnejs er en naturligt forekommende bjergart, der består af mineralerne kvarts, feldspat og glimmer. Granit/gnejs er et hårdt materiale som generelt er ru og kornet i overfladen, men som kan poleres. Farven varierer fra grå/sort til grå/rødlig.

Granit/gnejs er sammenlignet med tegl mindre porøs og optager væsentligt mindre vand.

5.2.5 Murværk

Murværk begrænses i dette projekt til ovennævnte byggesten sammenføjet i forbandt ved brug af mørtel.

Der er forskellige former for overfladebehandling af murværk. Overfladebehandlinger kan foruden egentlige pudslag omfatte filtsning, sækkeskuring, vandskuring, kalkning mv. For nærmere beskrivelse af disse overfladebehandlinger henvises til Tegl 18 [33].

Derudover kan der være tale om en overfladebehandling i form af imprægnering, forsegling eller maling.

Afhængig af overfladebehandlingen kan materialets overfladeruighed samt egenskaber mht. vandoptagelse og afgivelse ændres.

5.2.6 Betontagsten

Betontagsten fremstilles af cement og sand som blandes til mørtel. Tagstenene ekstruderes af denne mørtel, og opnår herved stor styrke og tæthed. Tagstenene er normalt gennemfarvede ved tilsætning af jernoxider, i brune, gule og røde farver. Tagstenene har, som alle cementbaserede produkter, en tendens til kalkudfældninger på overfladen. Tagstenene kan være malede, hvilket mindsker kalkudfældningen. Udfældningerne vil normalt med tiden vaskes af af regnvand. Nye stens pH-værdi er på 12-14. Efterhånden som de karbonatiserer bliver pH neutral.

6 Materialeegenskaber

Følgende materialeegenskaber er udvalgt til vurdering af deres betydning for vækst:

- pH
- porøsitet
- densitet
- vandoptagelse
- minutsug
- fordampningshastighed
- næringsstoffer
- overfladens ruhed.

6.1 pH

Vurdering af pH

pH er vurderet på flere måder i projektet:

- ved måling på en 10% vandig opslemning af formalet materiale.
- for cementholdige materialer (mørtel, kalksandsten, beton) er pH vurderet ud fra karbonatiseringsgraden i de undersøgte områder af materialerne.

Typiske niveauer for pH

Tegl

pH i tegl ligger typisk omkring 8-10 for rødt tegl og 9-10 for gult tegl.

Mørtel

pH i mørtel er stærkt basisk ved opførelsen, men efterhånden som mørtlen karbonatiserer falder pH til ca. 8.

Beton og kalksandsten

Ligeledes vil pH i beton og kalksandsten være stærkt basiske (pH 12-14) som nye.

På en tilfældig udvalgt kalksandsten leveret fra værk er pH i en 10% opslemning målt til 11,1.

Efterhånden som karbonatiseringen sker vil pH falde til ca. 8.

Den yderste overflade (0,1 mm) af stenens overflade vil normalt meget hurtigt være karboniseret. Derefter vil karboniseringshastigheden falde væsentligt.

Granit/gnejs

pH i granit/gnejs er ikke målt i projektet.

6.2 Densitet

Følgende skema angiver typiske intervaller for de relevante materials densitet:

Tabel 6.1: Typiske niveauer for nettodensitet:

Materialer:		Typisk niveau kg/m ³
Tegltagsten	Rød	1830-1960
	Gul	1780-1990)
Teglsten	Røde blødstrogne	1800-1900
	Røde maskinsten	1800-2000
	Gule blødstrogne	1700-1800
	Gule maskinsten	1700-1800
Betontagsten		2100-2200
Kalksandsten		1700-1800
Muremørtel		1800-2030
Granit/Gnejs		2530-2780

6.3 Vandoptagelse/minutsugning

Ved vandoptagelse forstås den vandmængde, stenen optager på 2 døgn i procent af stenmassens rumfang, idet stenen i det første døgn er nedsænket halvt og i det andet døgn helt i vand.

Tabel 6.2: Typiske niveauer for vandoptagelse

Materialer:		Typisk niveau i vægt%
Tegltagsten	Rød	10,7-11,8
	Gul	8,4-16,5
Teglsten	Røde blødstrogne	10,8-11,9
	Røde maskinsten	10,5-11,6
	Gule blødstrogne	13,7-16,0
	Gule maskinsten	14,9-17,1
Betontagsten		5-6%
Kalksandsten		12,6-13,7
Granit/Gnejs Vægt%		0,1%

Ved minutsugning forstås den vandmængde stenedens liggeflade kan opsuge på 1 minut angivet i masse pr. arealenhed, idet liggefladen er 10 mm under vand-spejlet.

Minutsugningen er en parameter der fastlægges for mursten for at vurdere stenedens egenskaber med hensyn til at suge vand fra mørtel.

Tabel 6.3: Typiske niveauer for minutsugning

Materialer:		Typisk niveau, kg/m ²
Teglsten	Røde blødstrogne	1,4-3,0
	Røde maskinsten	0,9-3,2
	Gule blødstrogne	1,1-4,1
	Gule maskinsten	2,6-4,6
Kalksandsten		0,2-2,0
Granit/Gnejs		Ukendt, Svagtsugende

Det yderste lag af teglstenens overflade betegnes ofte som brandhuden. Betegnelse er dog lidt misvisende, da laget opstår under formgivningen. Fjernes denne brandhud, ændres stenedens udseende og overfladeruhed. Undersøgelser har dog vist, at stenedens egenskaber mht. vandoptagelse og minutsug for nye sten ikke ændres herved.

6.4 Fordampningshastighed

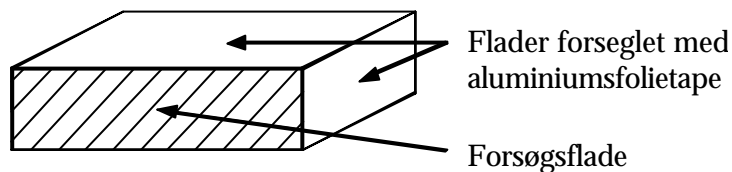
Fordampningshastighed bestemmes på Teknologisk Institut, Murværk ved en metode der ofte anvendes til at sammenligne fordampningshastighed mellem ubehandlede og overfladebehandlede teglsten.

Metoden gennemføres på følgende vis:

Prøvelegemet tørres til konstant vægt i tørreskab med strømmende luft ved $40 \pm 5^\circ\text{C}$

Herefter forsegles prøvelegemets liggeflader og kopender, således at kun prøvelegemets overfladebehandlede løberside og ubehandlede løberside er frie. Prøvelegemet vejes og lagres derefter 3 døgn helt nedsænket i vand.

Efter vandlagringen vejes prøvelegemet atter, og dets bagside (den ubehandlede løberside) dækkes med plastfolie og på en sådan måde, at fordampning af vand kun kan ske gennem prøvelegemets overfladebehandlede løberside (se fig. 1).



Figur 6.1

Prøvelegemet vejes atter og anbringes i klimarum ved 20°C og 65% relativ fugtighed med den overfladebehandlede løberside opefter.

Efter bestemte tidsintervaller, (typisk efter 1, 2, 4, 7 og 14 døgn) vejes prøvelegemet, og væggtabene tages som udtryk for den vandmængde, der er fordampet ud gennem den overfladebehandlede løberside.

Herefter fjernes plastfolien fra prøvelegemets bagside (den ubehandlede løberside) og anbringes på prøvelegemets forside (den behandlede løberside), og forsøget gentages som ovenfor beskrevet.

6.5 Næringsstoffer

Sammensætning og mængde af næringsstoffer kan variere meget i de forskellige materialer afhængig af råmaterialer og ikke mindst afhængig af evt. behandlinger efter opførsel.

For de materialer, som indeværende projekt omhandler, er det primært følgende stoffer, som man i større eller mindre grad kan forvente at finde i en opløselig form og som kan forventes at give næring til væksten:

- natrium
- kalium
- calcium
- sulfat
- mangan

Herudover kan følgende være relevant

- chlorid, hvis murværket er afsyret med saltsyre
- fosfor, f.eks. hvis murværket har været rensset med et fosforsyreholdigt rensmiddel. Det naturlige indhold af fosfor i dansk rødler er bestemt til ca. 0,1% P_2O_5 [34]. Hvor meget af dette fosfor der er tilgængeligt for den biologiske vækst i en form, som væksten kan optage (f.eks. som fosfat), vides ikke.
- nitrat, primært gammelt murværk.

6.6 Overfladens ruhed

Overfladens ruhed er vurderet ved hjælp af mikroanalyse af tyndslib.

Ru overflade med fritlagte sandkorn betyder, at den oprindelige overflade er forsvundet (f.eks. ved erosion).

Ru overflade betyder en oprindelig overflade med "bølgetoppe og -dale" og/eller negative porer. Jo større afstand mellem bølgetop og bølgedal og jo mindre afstand mellem 2 bølgetoppe/-dale, jo mere ru er overfladen.

Det er i projektet overvejet, hvorledes man kan lave en kvantitativ vurdering af overfladens ruhed der kan anvendes til fremtidige undersøgelser.

Det foreslås, at der laves en karakteristik med "ruhedsgrad 0-3", hvor 0 angiver en glat overflade, 3 en overflade med fritlagte korn. 1 og 2 er så lidt ru og meget ru med oprindelig overflade, eventuelt karakteriseret ved opmåling af afstanden mellem bølgetop og -bund og mellem 2 bølgedale eller antal bølgetoppe pr. mm i tyndslibet.

I indeværende projekt er ruheden vurderet relativt inden for det enkelte tyndslib/tyndslibsserie.

6.7 Porøsitet

Porøsiteten er vurderet på baggrund af mikroanalyse af tyndslib.

For teglstenene oplyses porøsiteten i procent luft.

For betonstenene oplyses porøsiteten hvor det er muligt både i procent luft og i vand/cement forhold.

Mikroanalyserne er i indeværende projekt alene udført på tegl, beton og en enkelt mørtelprøve.

7 Biologisk vækst

Til "Katalog over biologisk vækst på murværk og tegl" er der udarbejdet to nøgler som redskab til at bestemme, hvilke organismer der vokser på en given prøve fra mur, tegl og beton. I Nøgle I kan man bestemme, hvilken biologisk klasse væksten tilhører. I Nøgle II kan man bestemme laver, mosser og alger til slægt eller art. Det skal dog bemærkes, at materialet, som danner grundlag for bestemmelsesnøglerne, ikke kan regnes for udtømmende for danske forhold, og at der derfor vil kunne findes arter som ikke er beskrevet her.

Højere planter og såkaldte sporeplanter kan som tidligere nævnt vokse på de materialer projektet omhandler. Nedenfor er derfor gengivet katalogets nøgle til overordnet klassificering af den biologiske vækst med beskrivelser af de enkelte typer af vækst. Nøglen er opbygget sådan at man med væksten i hånden skal svare på spørgsmålene i rækkefølge og gå videre til det næste punkt, indtil man finder det rigtige svar. Hvert punkt har to spørgsmål.

7.1 Nøgle I - overordnet bestemmelse af biologisk vækst

1. Væksten har karakter af en jævn, udbredt belægning. I fugtigt vejr er belægningen slimet..... 2
Vækst anderledes 3
2. Belægning oftest grøn, kan også være rød eller brunlig til næsten sort alger
Belægning lyserød til orangesvampe
3. Vækst grålig til grønlig eller gul til orange. Skorpeformet belægning eller lidt bladagtig i kanten laver
Vækst grøn..... 4
4. Vækst frisk grøn til vissengrøn, som små grønne buske eller krybende, med mere eller mindre grenede stænglermosser
Vækst planteagtig 5
5. Vækst med blade, med eller uden brune pletter (sporehobe) på bladundersiden.....bregner
Vækst med blade og evt. stilke med blomst/eller træer . højere planter



Figur 7.1. Biologisk nøgle som rutediagram

7.1.1 Bakterier (ikke medtaget i nøgle og ikke illustreret)

Bakterier omfatter ca. 1700 arter fordelt på godt 100 slægter. De optræder overalt: i jord, vand og luft samt i og på mennesker, dyr og planter. På grund af deres ringe størrelse spredes de let gennem luften. Ofte findes de i store mængder - en frugtbar jord kan indeholde ca. 1 milliard celler pr. g jord heraf er dog max 10% af bakterierne levende. Bakterierne kan leve enkeltvis eller samle sig i kolonier eller danne film henover en overflade. Ifølge litteraturen kan der vokse bakterier på tag- og murflader, som muligvis kan danne næring for andre organismer. Bakteriebelægninger er ikke synlige.

7.1.2 Alger

Ordet alger anvendes om en række forskellige organismer, der er meget forskellige i udseende og levevis. De fleste kender alger som tang, der driver ind på stranden eller "vandblomster" på søerne. Det kan være store flercellede organismer eller encellede organismer beslægtet med bakterier, andre har fællestæk med svampe og atter andre må formodes at være stamform til højere planter. Algerne udfører fotosyntese ved hjælp af chlorofyl. Vi kender alger som knyttet til vandmiljøet, men nogle mikroskopiske alger optræder i og på jord, mens andre lever som luftalger, f.eks. på fugtige klipper og træstammer. Det er disse luftalger, der kan etablere sig på tage og facader under særlige forhold. Algerne omfatter 25.000 arter fordelt på 2000 forskellige slægter.

Nogle alger kan tåle ekstreme forhold og variation i temperatur, fugtighed osv. Alger på tag- og murflader vil ofte tilhøre gruppen af grønalger og danne udbredte grønne belægninger. Algebelægninger kan dog også være rødlige til brunsorte og tilhører da gruppen af rødalger.



Figur 7.2

7.1.3 Svampe

Svampe udgør så mangfoldig en gruppe af organismer, at de kan være svært at beskrive fælles. I modsætning til algerne har de ikke chlorophyl, men kan optage næring i deres celler ved diffusion.

Det er ikke mange svampe vi ser på tage og murværk. Vi kender champignon og kantarel og de seje svampe, som vi anvender til juledekorationer, som i virkeligheden er trænedbrydende svampe fra skoven. Vi kender også mug og skimmelsvampe fra rugbrød, syltetøj og skimmelost, og vi kender bagegær som er en hel koloni af encellede svampe.

Nogle svampe kan overleve ekstreme kår over lang tid og spire, så snart forholdene dvs. fugt og temperatur er passende. Det er i klassen Ascomycetes (Bægersvampe) vi kan finde svampe der kan vokse på tage og facader. På murværk kan vi f.eks. støde på svampeslægten *Pyronema* som naturligt forekommer på brandpletter og dampsteriliseret jord. Hvor puds og fugemørtel indeholder grus, jord eller ler kan der derfor forekomme sporer af denne svamp som kan overleve ekstreme kår over lang tid og spire, så snart forholdene dvs. fugt og temperatur er passende.



Figur 7.3

7.1.4 Laver

Laver er betegnelsen for en symbiose (eller samliv) mellem en svamp og en alge, hvor algen laver fotosyntese, og svampen opsuger vand og næring fra substratet og den omgivende luft. Algen er omsluttet af svampen, så den undgår udtørring. Laver kan være skorpeformede, bladformede eller buskformede. Hos skorpelaverne er hele organismen fast tilhæftet substratet, og er næsten umulige at fjerne. Bladlaverne sidder fast på underlaget med en slags hæftetråde (rhiziner) og er vanskelige at fjerne. Busklaver er mere løst tilhæftet underlaget på et meget lille område af undersiden. Laverne opsuger vand og næring med hele deres overflade, og svampen udnytter selv disse stoffer eller bringer dem ind til algerne for videre bearbejdning. Mange laver kan klare sig med at leve af partikler i luften alene. Den regn og det støv, som kommer til laverne via luften, er tilstrækkelig til at de kan trives. Til gengæld er de stærkt følsomme overfor forurening og kan bruges som artsindikatorer for graden af luftforurening i et givent område. Laverne kan tåle udtørring gennem lange perioder. En udtørret lav befinder sig i en dvaletilstand. Laverne vokser uhyre langsomt, men kan til gengæld leve meget længe. Blad- og skorpelaver vokser radiært ud men ofte ikke mere end 0,5-2 mm pr år. Laverne udskiller organiske syrer og andre stoffer.



Figur 7.4

7.1.5 Mosser

Mosser hører ligesom alger, svampe og laver til de sporedannende planter. De har nok stængel og blade men ingen rødder, kun nogle tråde (rhizoider) som tjener til fasthæftning og opsugning af vand og næringsstoffer. Mosser kender vi normalt fra meget fugtige områder, bl.a. de såkaldte tørvemosser, men nogle arter blandt bladmosserne kan tåle at være fuldstændigt udtørrede i langt tid og leve op igen, når de får fugt. Mosser er små, grønne planter med klorofyl og de udnytter altså sollyset.



Figur 7.5

7.1.6 Andre sporeplanter (ikke medtaget i nøgle og ikke illustreret)

Foruden mosser kan nævnes ulvefodsplanter, padderokker og bregner, som også er sporeplanter. Men disse forekommer så sjældent på almindelig murværk og tage, at de ikke vil blive behandlet yderligere i projektet. På historiske bygningsmonumenter ses dog bevoksning af f.eks. bregnen Engelsød.

7.1.7 Højere planter (ikke medtaget i nøgle og ikke illustreret)

Dette projekt omhandler ikke højere planter, og derfor skal det blot nævnes her som et kuriosum, at højere planter kan etablere sig hvor som helst, hvor der er næring, fugt og tilstrækkeligt lys - også på tage og murværk. Således kan der gro birketræer, mælkebøtter o. lign ud af revner og sprækker på bygninger hvis forholdene er hertil og væksterne ikke bliver fjernet. Rødderne vil da søge ind i alle sprækker og revner og udvide disse.

7.2 Katalog over biologisk vækst

7.2.1 Katalogets tilblivelse

Kataloget, som alene omhandler den synlige vækst, dvs. alger, svampe, laver og mosser, er lavet som et redskab primært for rådgivere og konsulenter, der uden større kendskab til biologi vil kunne danne sig et billede af, hvilken gruppe af skadesorganismer, de står overfor ved en given sag. Gennem en systematisk indsamling af data over længere tid vil der kunne opnås et bedre erfaringsgrundlag for danske forhold. Desuden er der med dette arbejde opbygget en faglig ekspertise på Teknologisk Institut, Bioteknik som sikrer, at prøvemateriale indsamlet fra bygninger, hvor der er konstateret angreb vil kunne undersøges og skadesorganismerne identificeres.

Kataloget er blevet til ud fra et materiale af 16 tegltagsten, 5 betontagsten, 1 mursten, 9 mørtelprøver og 2 skrab fra granit. På grund af væksternes naturlige variation og det forholdsvis lille materiale har det været nødvendigt også at bruge litteraturen til artsbeskrivelserne. Under de enkelte arters økologi er kun medtaget de substrater der kunne tænkes at have relevans i forbindelse med bygningskonstruktioner.

Det har ikke været muligt at sætte artsnavne på algerne, da en dyrkning af disse er nødvendig for korrekt bestemmelse.

Som indgang til kataloget er konstrueret en nøgle, gengivet ovenfor, der først og fremmest gør det muligt, at gruppere organismene. Dernæst er der udarbejdet en mere detaljeret bestemmelsesnøgle, som dækker laver, mosser og alger. Nøglen er hovedsagelig baseret på arternes makroskopiske karakterer. Der er taget fotos af de forskellige arter med angivelse af størrelsesforhold. Der kan være mange forskellige arter på f.eks. én enkelt tagsten. Det er fundet nødvendigt at anvende en række fagudtryk både i selve nøglen og i de enkelte beskrivelser. Bagest i kataloget findes derfor en ordforklaring. Det kan være en god ide at læse ordforklaringen før man anvender nøglen.

7.2.2 Farvekatalogets hovedbudskaber

Farvekataloget har givet et grundigt kendskab til hvilke organismer der i Danmark bevokser murværk, tegl- og betontagsten. Fokus er primært på alger, laver og mosser, mens bakterier og svampe kun er omfattet i mindre grad.

Farvekataloget indeholder nøgler der gør det muligt at gruppere organismene og en mere detaljeret bestemmelsesnøgle der dækker laver, mosser og alger. Nøglerne forventes at kunne blive et væsentligt redskab til fremtidige undersøgelser af vækst på danske byggematerialer.

Kataloget indeholder detaljeret beskrivelse af de enkelte organismer, vejledning til hvordan man med kemiske midler kan lave en mere sikker identifikation samt oplysninger om hvilke materialer arterne lever på, herunder både hvilke materialer der er fundet på i indeværende projekt samt hvad der er oplyst i litteraturen.

Arbejdet med identifikation af de forskellige organismer har afsløret en særdeles stor artsrigdom på et relativt lille materiale. Ved arbejdet har vi dog også konstateret, at de mest almindelige arter med størst dækningsgrad blev gengangere, hvilket betyder at kataloget efter vort skøn vil være et brugbart redskab fremover. En så omfattende undersøgelse over hvilke organismer vi finder på danske materialer har ikke eksisteret tidligere. Undersøgelsen skønnes endvidere at have europæisk interesse.

7.3 Artsliste, udbredelse og hyppighed

På det materiale, som danner grundlag for katalogets tilblivelse, er der udarbejdet en samlet artsliste. For hver art er det angivet hvilken type substrat organismen er fundet på i indeværende projekt (tegl, granit, mørtel, beton, kalksandsten). Fra antallet af prøver hvorpå den enkelte organisme er registreret kan man danne sig et forsigtigt skøn over udbredelsen af organismen. Dette er sammenholdt med hvilken hyppighed, der angives for de enkelte arter i litteraturen.

I vedlagte bilag 2 er listet de organismer, der er undersøgt i projektet. De forskellige organismer er i litteraturen og i "kataloget" angivet som

Sj. = sjælden

Alm. = almindelig forekommende

M. alm. = meget almindelig

7.3.1 Laver

På baggrund af de antal fund af laver, der er gjort i projektet, er der angivet en tilsvarende vurdering af udbredelsen eller man kunne sige hyppigheden af de enkelte laver på murværk, tegl- og betontagsten. I de fleste tilfælde er der god overensstemmelse mellem litteraturens angivelse og vores vurdering. Et tilfælde adskiller sig dog klart, og det er *Candelariella aurella*, som i litteraturen angives som sjælden, men i projektet er identificeret 8 gange. Det er dog ikke nogen særlig synlig vækst, men trives åbenbart på murværk, tegl- og betontagsten. For alger, mosser og svampe er antallet af fund ikke stort nok til at man kan sige noget om hyppigheden på disse materialer.

På hele tagsten har vi for laver og alger forsøgt at lave en dækningsgradsanalyse ud fra den betragtning, at selvom man på en enkelt tagsten kan finde helt op til 17 forskellige arter, er de ikke alle lige udbredte på materialet og lige synlige især for det blotte øje og set på afstand. Ved hjælp af en skala fra 1-5 har vi skønnet, hvor meget en enkelt organisme fylder på en tagsten.

- 1: <2%
- 2: 2-5%
- 3: 5-20%
- 4: 20-50%
- 5: >50%

a: Laver med store aggregerede thalli (ex. *Xanthoria parietina*)

s: Laver med spredte og små thalli (ex. *Lecanora dispersa*)

I tabellerne i bilag 2 er der for laver og alger angivet mindste og største værdi og i parentes hvor mange tagsten der er målt på. Desuden er for nogle lavers vedkommende angivet vækstformen som store sammenhængende thalli (a) eller spredte og små thalli (s). Dækningsgradsanalysen er ikke gennemført for samtlige prøver af tagsten.

Generelt kan vi sige, at 15 tagsten med laver er målt op, 3 tagsten med mosser og 16 tagsten med alger. Det fremgår klart af tabellerne hvilke organismer, der virkelig fylder og dermed også er meget synlige. Det er *Caloplaca holocarpa*, *Hypogymnia tubulosa*, *Lecanora dispersa*, *Lepraria incana*, *Physcia caesia*, *Verrucaria nigrescens* og *Xanthoria parietina* (også fordi den er gul). Desuden kan *Phaeophyscia orbicularis* være meget synlig fordi den sammen med *Physcia caesia* og *Xanthoria parietina* har store sammenhængende thalli.

Endolithiske eller epilithiske arter

For laverne skelner man mellem endolithiske og epilithiske arter. Endolithisk betyder, at organismen vokser ind i stensubstratet og epilithisk betyder, at organismen vokser oven på stensubstratet. Det har desværre ikke været muligt at finde oplysninger for alle identificerede arter om hvorvidt arten er epilithisk eller endolithisk.

Nedenstående skema viser en oversigt over de laver for hvilke der er kendskab til om de er epilithiske eller endolithiske. I skemaet er der ligeledes anført hvilke materialetyper laverne er identificeret på.

Tabel 7.1: Epilithiske og endolithiske laver

Caloplaca citrina	Endolithisk	Beton, mørtel. I alt 9 prøver
Caloplaca holocarpa	Endolithisk	Beton, gult tegl, rødt tegl, mørtel . I alt 10 prøver, 3 tegl
Lecanora dispersa	Endolithisk	Beton, gult tegl, rødt tegl, mørtel I alt 12 prøver, 3 tegl
Lecanora muralis	Epilithisk	Tegl. I alt 1 prøve
Melanelia exasperatula	Epilithisk	Tegl. I alt 2 prøver
Physcia tenella	Epilithisk	Beton, tegl. I alt 2 prøver
Verrucaria nigrescens	Epilithisk	Beton, mørtel. I alt 3 prøver
Verrucaria muralis	Endolithisk	Mørtel, 1 prøve
Xanthoria parietina	Epilithisk	Beton, tegl, granit. I alt 8 prøver
Xanthoria polycarpa	Epilithisk	Tegl. I alt 2 prøver

På baggrund af de i projektet udførte mikroanalyser af tyndslib vurderes det derudover, at *Caloplaca saxicola* er endolithisk og at *Physcia caesia* er epilithisk. Dette kan dog kun påstås med stor usikkerhed da vurderingen er baseret på et enkelt tyndslib.

Der er således kun oplysninger om epilithisk/endolithisk karakter for 10 ud af 26 arter. Men når den samlede oversigt over arter, udbredelse mv. gås igennem (bilag 2) ses, at stort set alle de laver som udfra antallet af fund er vurderet som almindelige, er beskrevet. Undtaget er kun *Candelariella aurella* og *Lecanora albescens*. *Physcia caesia* er på baggrund af antal fund ved udarbejdelsen af farvekataloget karakteriseret som sjælden. Laven er dog efterfølgende iagttaget på en række tegltage og derfor snarere almindeligt forekommende

Selvom det er et relativt spinkelt grundlag at konkludere udfra synes der at være en tendens til at endolithiske laver under normale forhold foretrækker beton og mørtel og ikke i samme grad trives på tegl. De endolithiske arter er kun fundet på teglprøver 30SIII, 5.1-5.3 samt 13-1-2. 30SII og 5.1-5.3 er gult tegl/gulrødt tegl med højere kalkindhold end rødt tegl. For samtlige sten gælder, at disse sten er taget fra tagflader, hvor mange af stenene havde afskalninger/frostsprængninger. (Væksten vurderes ikke at have forårsaget disse afskalninger.)

For *Candelariella aurella* og *Lecanora albescens* som også er vurderet som almindeligt forekommende gælder det at *Candelariella aurella* kun er identificeret på beton og mørtel, mens *Lecanora albescens* også primært er identificeret på beton og mørtel dog også på en enkelt teglsten mærket 13.1 men kun med udbredelse på 1 (svarende til mindre end 2%).

Vurderingen af om *Physcia caesia* er endolithisk eller epilithisk er som ovenfor beskrevet noget usikker. Derfor er teorien lidt usikker og bør undersøges nærmere ved fremtidige undersøgelser af begroede materialer.

7.3.2 Mosser

Der er undersøgt 16 prøver af mosser fra 14 forskellige adresser, som er identificeret til 8 forskellige arter, heraf er en dog kun identificeret til slægt. Kun en af de fundne arter, *Leskea polycarpa*, angives i litteraturen som værende sjælden, men er i projektet fundet i 3 tilfælde, hvilket kunne tyde på, at denne art måske er mere almindelig på de substrater vi har med at gøre. Prøver af mosser har i de fleste tilfælde været enkeltprøver uden substrat vedhæftet, hvorfor dækningsgrad ikke kan angives. Flere fund har været hæftet til fugematerialer snarere end til selve tagstenene.

7.3.3 Alger

Der er undersøgt 20 fra 18 forskellige adresser som er delvist identificeret til minimum 5 forskellige grønalger. Algerne er indsamlet på prøvemateriale, så dækningsgraden har kunnet bestemmes. Men på grund af en noget usikker identifikation angives dækningen alene for gruppen samlet. Dækningsgraden for alger er målt på 16 tagsten til mellem 1-5 med et gennemsnit på 2,5. Det er karakteristisk for algebevoksning, at algerne kan dække fuldstændigt i relativt store områder, hvorved de bliver meget synlige som misfarvninger og kan ses på lang afstand. Mindre algebevoksninger vil ofte ikke være særlig synlige, da algevækst flugter med overfladen.

7.3.4 Svampe

Der er kun registreret få svampeangreb i projektet. Det skyldes dels, at de ikke er forekommet som synlig misfarvning eller vækst på tagsten og murværk, men alene er registreret på pudsede overflader med eller uden maling samt på kalksandsten. Imidlertid viste forsøg med vækstregistrering på betonsålbænke ved hjælp af såkaldte aftryksplader med et svampemedium, at der er en masse forskellige sporer af skimmelsvampe aflejret på overfladerne, helt som forventet, og at disse sporer kan spire under de rette betingelser. Yderligere undersøgelser med større fokus på pudsede overflader forventes at ville afsløre flere angreb af skimmelsvampe.

7.4 Vækstbetingelser

7.4.1 Biomodtagelighed

Ved biomodtagelighed forstås alle kemiske og fysiske parametre, der karakteriserer et materiale som kan have indflydelse på kolonisering af biologiske organismer, når disse gives de mest optimale vilkår.

Tre faktorer skal være opfyldt for at en organisme kan etablere sig på et materiale:

1. en overflade, som organismen kan forankre sig til
2. tilstrækkelig næring til udvikling og vækst
3. tilstrækkelig vand til at forsyne de fysiologiske funktioner og i mange tilfælde deres formering og spredning (cyanobakter (svovlbakterier), alger, mosser og laver). Fugtigheden bestemmer kinetikken, biomassen og vegetationens sammensætning.

Kilde [19]

7.4.2 Vækstmedium

Substratets indhold af næringsstoffer, fugtforhold og pH er parametre som er betydende for floraens sammensætning. Andre faktorer som frost, forurening, lys og temperatur samt materialets karakteristisk og deres indbyrdes påvirkninger er også vigtige.

7.4.3 Vegetation og succession

Den makroskopiske eller synlige vækst man ser på udendørs eksponerede byggematerialer, som tegl, betontagsten, murværk osv. kalder vi biologisk

vækst eller biofouling. Den består udelukkende af eukaryote organismer. Før disse organismer kan etablere sig er der brug for et næringslag. Undersøgelser har vist, at dette næringslag udgøres af en biofilm af prokaryote organismer primært bakterier, som på det tidspunkt, hvor den eukaryote organisme etablerer sig, kan bestå af døde eller levende organismer. Det er denne biofilm suppleret af andre stoffer, der har nedfældet sig på overfladen, der danner grobund og næring for eukaryoterne.

Der vides ikke meget om, hvilke bakterier biofilmen på disse materialer kan bestå af, og hvilke krav der skal være opfyldt for at en biofilm kan etablere sig. Egenskaber som kan tillægges betydning for etablering af biofilm kan bl.a. være materialets porøsitet og evne til at binde vand - om det er hydrofobt eller hydrofilt, materialets kemi, pH, polaritet, materialets overfladestruktur eller ruhed, materialets orientering mod verdenshjørnerne og i forhold til hældning, materialets farve og termiske egenskaber i forhold til varmeoptagelse, mm.

Man kan forestille sig, at der på materialet står en vandhinde i kortere eller længere tid og i overgangen mellem materiale og vandhinde kan der etableres en biofilm. Hvor følsom denne biofilm er overfor udtørring og mekanisk/fysisk/kemisk påvirkning vides ikke, og hvad det i så fald betyder for de vækster, der typisk koloniserer materialet, vides heller ikke.

Når biofilmen er veletableret vil der være næring til stede for makrofloraen. Nu vil der være mulighed for at alger, mosser og laver kan etablere sig og først derefter er den biologiske vækst reelt synlig.

På nogle biotoper vil der kun etablere sig algevækst. Algerne vokser hurtigt og breder sig villigt ud over materialet i store oftest grønne plamager. Alger synes ikke at stille store krav til ruhed, idet algevækst ofte kan ses på relativt glatte materialer.

Alger kan inddeles i grupper afhængig af livsform og levested:

Tabel 7.2: Gruppering af alger.

Aeroterrestriske alger	Algegruppe	Livsform	Levested
	Terrestriske - jordboende alger (fakultativt aerophytiske)	Euterrestriske	I og på jord
		Hydroterrestriske	I og på permanent fugtig jord
		Aeroterrestriske	På jordoverfladen - overgang til luft
		Hypolithiske	På underside af sten f.eks. kvarts og kalksten
	Aerophytiske - luftalger (fakultativt terrestriske)	Epiphytiske	På planter, træer, mosser
		Xylophytiske	På ved
		Litophytiske	På sten
		Phycobionter	I laver

[29]

Af tabellen fremgår, at de alger vi kan finde på murværk, tegl- og betontagsten tilhører luftalger, dvs. de spredes via luften. Det gælder både alger, der er fritvoksende på disse materialer og alger, der vokser i samliv med svampe som laver [29].

Jordalger er primære producenter af organisk stof og næringskilde for heterotrofe organismer. De har også en vigtig funktion ved at binde tørre partikler, tør jord, aske osv. sammen. Mosser og laver har en tilsvarende funktion [29].

Jordalger kan hæmme eller fremme væksten og udviklingen af andre auto- og heterotrofe organismer. Man kan bruge grønalger som bioindikator til analyse af effekten af plantebeskyttelsesmidler på jordens fertilitet. Kalkholdige alkaliske jorder er ofte mere artsrige end sure silikatholdige jorder (Reisigl 1964 efter Ettl & Gärtner, 1995).

Tilsvarende kunne gælde for luftalger, når det gælder bevoksning på murværksmaterialer. I indeværende projekt har det dog ikke været muligt at undersøge hvorvidt der rent faktisk sker en succession. Det er sandsynligt, at algebevoksninger kan medvirke til at binde snavs. Det er endvidere hævdet, at algebevoksninger er et stigende problem forårsaget af forurening og at algebevoksninger skulle være særlig hyppige i forbindelse med landbrugsejendomme. Dette er dog ikke nærmere undersøgt i indeværende projekt.

Laver er meget langsomt voksende organismer der vil kunne gro på såvel de relativt glatte flader som på meget ru flader.

Nogle arter af laver er meget følsomme overfor svovldioxid (SO_2), mens andre er særdeles tolerante. Derfor er en registrering af træers lavbevoksning en anvendt metode til bedømmelse af luftkvalitet. En forværring af luftkvaliteten vil hurtigt kunne konstateres ved denne metode, idet svovldioxid-følsomme arter vil dø i løbet af kort tid. Det kan derimod tage længere tid inden en forbedring af luftkvaliteten kan konstateres. Det kan tage op til flere år inden nye lavararter vokser frem på træerne.

Bedømmelsen af luftkvaliteten sker typisk vha. en 9-punkts skala. Jo højere skala jo bedre luftkvalitet. Luftkvalitet 2 svarer til $65\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$. Her kan lavarten *Physcia tenella* identificeres. Ved luftkvaliteten 3 svarende til $60\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ kan lavarten *Xanthoria parietina* og *Phaeophyscia orbicularis* identificeres, [30].

De øvrige arter anvendt i skalaen er ikke identificeret i indeværende projekt. De er dog uvist, om de anvendte koncentrationer for svovldioxid kan anvendes ved fund af laverne på byggematerialer, idet i hvert fald kalkholdige materialer vil reagere med svovldioxiden.

Mosser er meget synlige eller dominerende, når de vokser på tage og facader. På vertikale flader er det små, korte mosser, der dominerer mens der på tage kan vokse større og mere udbredte og buskformede mosser. Mosserne gror sjældent på glatte flader, men fæstner sig gerne på ru overflader, hvor der samtidig er en vandfælde.

8 Materialeegenskaberens betydning for vækst

8.1 Indledning/oversigt over udførte undersøgelser

Som tidligere nævnt er det følgende materialeegenskaber der er udvalgt til vurdering:

- pH
- porøsitet
- densitet
- vandoptagelse
- minutsugning
- fordampningshastighed
- næringsstoffer
- overfladens ruhed

Følgende oversigt viser hvilke undersøgelser der er udført:

Tabel 8.1: Oversigt over udførte undersøgelser

Antal prøver	Prøve (kun prøvenr. der er nævnt i indeværende rapport er anført)	Materiale	Princip
1	11.1	Tegltagsten, rød	Tyndslib pH Vandoptagelse Densitet Fordampningshastighed
1	13.1	Tegltagsten, rød	Tyndslib pH vandoptagelse densitet fordampningshastighed
1	2.2	Betontagsten	Tyndslib pH Vandoptagelse Densitet Fordampningshastighed
1	240-1	Betontagsten	Tyndslib pH Vandoptagelse Densitet Fordampningshastighed
1	240-2	Betontagsten	Tyndslib pH Vandoptagelse Densitet Fordampningshastighed
20	30SIII 40VIII Resterende sten mærket med husnr, verdenshjørne og løbenr.	2 tegltagsten, gule	tyndslib på 30SIII pH brændingsgrad for 6 sten kemisk sammensætning for 4 sten vandindhold densitet for 20 sten vandoptagelse for 20 sten fordampningshastighed for 30SIII og 40VIII
2	5.2 5.3	2 tegltagsten, gule	Fordampningshastighed
1	5326 (16.3)	mursten + mørtel med mosvækst i fugen	Tyndslib
9	-	Tegltagsten, med algebevoksning	Tyndslib
6	-	Glaserede teglsten begroet med alger	Orienterende undersøgelser af begroet glasur
15	-	gule vingetagsten	Densitet Vandoptagelse kemisk sammensætning brændingsgrad
1	-	prøver af kalklag fra kalket kirke	test for indhold af maling i kalk sulfatindhold i kalkprøver (fugtmålinger på konstruktionen)
2	51.2 52.1	ubrugte teglsten	pH kemisk sammensætning
4	3.1 51.1 60.1 60.2 61.1	Teglsten	pH
3	50.1 50.2 50.3	2 begroede + 1 ubrugte tegltagsten	Vandoptagelse Densitet Fordampningshastighed (hvis nye + gamle sten kan fås ellers på sten fra Bjarkesvej) pH (50.3)

8.2 pH

Når man ser på de materialer, der er omfattet af indeværende projekt, ses et interval i pH fra ca. 7 for granit, ca. 7-10 for tegl, op til ca. 12 for beton. For de cementholdige materialer (beton, kalksandsten, mørtel) gælder det, at pH umiddelbart efter produktion vil være højt, men efterhånden som materialet karbonatiserer, vil pH falde. Da det yderste lag relativt hurtigt vil karbonatisere, vil pH i overfladen, hvor væksten fæstnes, derfor hurtigt nærme sig pH for tegl.

I kataloget "Bevoksning på murværk, tegl- og betontage" er der så vidt muligt redegjort for de identificerede arters foretrukne pH-område på baggrund af aktuelle prøver og oplysninger i litteraturen.

De udførte undersøgelser bekræfter at pH har en vis betydning for sammensætningen af floraen på materialet. Dog er der arter, der trives i så bredt et pH interval, at de kan optræde på flere materialetyper. (Oversigt over arter/materialetyper findes i bilag 2)

pH-målinger på aktuelle prøver

Følgende skema viser en oversigt over identificerede arter og registreret pH på undersøgte materialer:

Tabel 8.2: pH-målinger

Prøve-mærke/materiale	pH	Alder Orientering Hældning Type	Identificeret vækst
Tegl			
11.1	6,7 overflade 8.4 tværsnit	4 år < 40° Nord Rødt tegl	Grønalger
13.1	6,4 overflade 9.9 tværsnit	15 år 25° sadeltag Nordvest Rødt tegl	Laver: Caloplaca holocarpa Lecanora dispersa Melanelia exasperatula Physcia caesia Xanthoria paritina Xanthoria polycarpa
30SIII	9,9 overflade 9.9 tværsnit	?? (> 5år) Sydvendt Gult tegl	Lav: Caloplaca holocarpa
50.3	8,5 overflade 8,5 tværsnit	Sydvendt, men fra tagflade der mest er i skygge 18 år Brunt (manganholdigt) tegl	Moderat-kraftig vækst af grønalg (enkelte lavpuder af sandsynligvis Physcia caesia på tagfladen men ikke på den aktuelle sten)
51.1	8,7 overflade 8,7 tværsnit	1½ år 45° Nord Rødt tegl	Kraftig algebevoksning efter 1 år.
51.2	9,8 tværsnit	- Rødt tegl	Prøvemateriale er fra ubrugt sten. Sammenhørende brugte sten 51.1
52.1	10,4 tværsnit	- Rødt tegl	Bjarkesvej, ubrugt sten
60.1	6,9 overflade 7,9 tværsnit	3 år 35° Rødt tegl	Grønalger
60.2	9,5 overflade 9,6 tværsnit	? >10 år Rødt tegl	Ubrugt sten Ingen vækst på oplagte sten. Samme teglproducent som 60.1. Nabohu-

Prøve- mærke/ materi- ale	pH	Alder Orientering Hældning Type	Identificeret vækst
Tegl			
			sets tag, ingen vækst
61.1	7,7 overflade 9,2 tværsnit	< 3 år Rødt tegl	Grønalger
3.1	7,6 tværsnit	23 år Nord Rødt tegl	Alger: Cfr. klebsormidium 1 Meget kraftig vækst
Beton			
2.2	10,9 * overflade 12,4 tværsnit Karbonatiserings- dybden er bestemt ved tyndslibsanaly- se: Underside: 0,5-1,0 mm Overside: 1,0-1,5 mm	8 år vest overfladebe- handlet fra værk	Laver: Caloplaca citrina Candelariella aurella Lecania erysibe Lecania cfr. sylvestris Lecanora albescens Lecanora dispersa Lecanora cfr. salina Phaeophyscia orbicularis Rinodina gennarii Xanthoria parietina Alger: Cfr. klebsormidium 2
240-1	Tyndslib viser, at prøven er gennem- karbonatiseret pH: 8,8 overflade 10,9 tværsnit	ca. 40 år Nord Ingen overflade- behandling	Laver: Caloplaca citrina Lecanora dispersa Verrucaria nigrescens Mos: Hypnom cupressiforme Alger: Cfr. klebsormidium 1
240-2	Tyndslib viser, at prøven er gennem- karbonatiseret pH 10% opl. 10,5 overflade 12,3 tværsnit	ca. 25 år syd Overfladebe- handlet fra værk	Caloplaca citrina Caloplaca holocarpa Caloplaca saxicola Candelariella aurella

* pga. af den lille karbonatiseringsdybde kan overfladeprøven være "forurennet" med ikke karbonatiseret materiale.

Tabel 8.3: Sammenhæng mellem pH og art af vækst på prøver af tegl tagsten:

Væksttype	Tegl type	Overflade-pH	Tværsnits-pH
Alger	Rødt	6,7	8,4
	Rødt	8,7	8,7
	Rødt	8,5	8,5
	Rødt	6,9	7,9
	Rødt	7,7	9,2
	Rødt		7,6
Lav	Rødt	6,4	9,9
	Gult	9,9	9,9

Mikroanalyse af tyndslib

Alle betonprøverne er karbonatiserede med variationer fra 0,5 mm til gennemkarbonatisering af stenen. Karbonatiseringsdybden synes ingen indflydelse at have på forekomst af vækst. Der er ikke i de undersøgte tyndslib observeret nedtrængning af vækst til ikke-karbonatiserede områder (kun én sten der ikke var gennemkarbonatiseret). Der har ikke på de aktuelle sten været ikke-karbonatiserede områder, hvor man typisk ville kunne forvente vækst. Der kan derfor ikke på baggrund af disse tyndslib endeligt konkluderes, hvorvidt vækst i ikke karbonatiserede områder med meget højt pH er mulig eller ej.

Observationer fra besigtigelser

Undersøgelser af kalklag fra kalket kirke har vist, at alger tilsyneladende har kunnet overleve inde bagved nye kalklag. Den midlertidige meget høje pH fra påføring af læsket kalk har altså ikke slået væksten ihjel.

Erfaringer fra laboratorieforsøg

I forbindelse med projektets 3. fase: "Udvikling og afprøvning af testmetoder" er det i laboratorium lykkedes at få grønalg til at vokse på nogle cellulosefiberarmerede kalciumsilikatplader med et pH på ca. 11.

Forskellen på vækst på udendørs konstruktioner og i laboratorium er bl.a. at i laboratoriet arbejdes med en renkultur, hurtig tilført næring og optimale vækstbetingelser, hvorimod materialer udendørs er eksponeret for vekslende vejr og vind, tilførsel af snavs, forurening, andet biomateriale osv.

I projektets 3. fase er der lavet en række laboratorieforsøg bl.a. for at undersøge algernes foretrukne pH. Disse resultater er detaljeret afrapporteret i delrapport: "Udvikling og afprøvning af testmetoder". Resultaterne indikerer at alger foretrækker pH på ca. 7-8.

Vurdering af betydningen af pH

Alger

Det er kun på teglstensprøverne, at grønalgene optræder som den dominerende vækst.

Der ses på en række teglsten en forskel på pH i materialernes overflade i forhold til længere inde i materialet. For en enkelt stentype er pH målt både på en sten, der har været lagt op på taget, og på en ubrugt sten (50.1 og 50.2). Den brugte sten har et signifikant lavere pH end den sten der har været oplagt.

Forskellen kan bl.a. skyldes følgende forhold:

- udvaskning af basiske stoffer fra overfladen/hele materialet
- påvirkning fra sur regn og deraf følgende sænkning af pH i overfladen
- carbonatisering af calciumhydroxidforbindelser.
- udskillelse af sure affaldsstoffer fra væksten. Fra litteraturen vides det, at bakterier og svampes udskillelse af affaldsstoffer kan variere alt efter vækstmediets indhold af næringsstoffer. Ifølge [25] er det ved forsøg vist, at organismer i næringsfattigt medie medførte udskillelse af organiske syrer mens de samme organismer forårsagede basiske udskillelser i næringsrige medier. Tegl, granit, beton mv. - særligt nyere, forholdsvis utilsmudsede sten - er at betragte som næringsfattige medier. Måske kan væksten således bidrage til et lavere pH. Men da pH ikke kun er lavere i overfladeprøven men også i tværsnitsprøven og stenen kun er få år gammel synes det urealistisk, at dette kan være den afgørende forklaring.

For prøverne 11.1, 51.1, 60.1 og 61.1 gælder det, at der i løbet af en kort periode er kommet relativt kraftig grønalge vækst. For 11.1, 60.1 og 61.1 gælder det, at der er et relativt lavt pH i overfladen og at det er lavere end tvær-snitprøven (pH i overfladen <8). 51.1 afviger herfra, idet pH både i overflade og tværsnit er 8,7.

51.1 er den yngste af de nævnte sten. Hvis pH-ændring i overflade tilskrives udvaskning af vandopløselige calciumforbindelser kan alderen måske forklare at der ikke er forskel på overflade-pH og tværsnit-pH.

Der ses svag tendens til at teglmaterialer med et relativt lavt pH i overfladen hurtigere vokser til med grønalger end teglmaterialer med et højere pH. Dette kan dog langt fra konkluderes med sikkerhed og bør undersøges nærmere.

Mere sandsynligt er det måske, at materialer med et lidt højere pH er mere tilbøjelige til at blive bevokset med de mere langsomt voksende laver der med tiden overtager som den dominerende vækst og fortrænger grønalgerne.

Grønalgerne har på ingen af de i projektet udtagne betonprøver været den dominerende vækst. For beton synes der ligeledes at være en svag tendens til at grønalgerne kun kommer i områder der er karbonatiseret, så pH er kommet ned under ca. 9, mens laverne også her trives i højere pH.

Laver

Der ses en tendens til at laverne foretrækker et basisk pH.

Der ses en tendens til at pH skal være højere end 9 (ved måling på prøve udtaget fra tværsnit) for at lavarterne er den dominerende vækst.

8.2.1 Litteraturens og andre oplysninger om betydning af pH

Det er kendt fra mange sammenhænge, at pH har en stor effekt på floraens sammensætning. Man taler om acidophile, neutrophile og basiphile arter. Acidophile arter foretrækker et vækstmedium med lavt pH, neutrophile et neutralt pH og basiphile et vækstmedium med højt pH. Basiphile arter omtales ofte som de kalkelskende arter.

I følge [1] foretrækker alger på byggematerialer et let alkalisk miljø.

I [19] refereres til en artikel af Brightman (1965) hvori, der konkluderes, at vandoptagelse, pH og overfladeruhed har betydning for lavvækst.

Ældre danske branchefolk oplyser, at man tidligere af og til behandlede tegltagsten med kalkvand for at forebygge algevækst. Behandling med kalkvand vil hæve pH.

8.3 Porøsitet

Materialernes porøsitet er undersøgt på udvalgte prøver ved mikroanalyse af tyndslib.

Tegl

Fra hver af de udvalgte teglsten blev valgt at fremstille et tyndslib fra område med kraftig vækst og et område med ingen/ringe vækst. Dette valg medførte, at tyndslib fra område med kraftig vækst måtte placeres i bund af sten og

tyndslib med ingen/ringe vækst placeres i top (vinge). På prøve 30SIII er begge tyndslib dog placeret i bund. Det ene hen over en delaminering, det andet i visuelt intakt område.

Tabel 8.4: Mikroanalyse af tegl tagsten

Prøvemærke	13.1	13.1	11.1	11.1	30 SIII (-1) uden skader	30 S III med skader
Placering af slib	Top	Bund	Top	Bund	Bund	Bund
Vækst	Slib lagt igennem Physcia caesia som er den dominerende vækst på stenen. Slib på vinge i område uden vækst		Grønalgler Slib på vinge i område uden vækst.		Dominerende vækst er lav: Caloplaca holocarpa. Slib lagt igennem denne. Slib 1 lagt i område generelt uden vækst	
Magringskorn Bindemiddel	11,3 vol.% 87,8 vol.%	12,9 vol.% 85,3 vol.%	16,4 vol.% 82,0 vol.%	16,8 vol.% 81,1 vol.%	14,5 vol.% 85,2 vol.%	12,9 vol.% 85,3 vol.%
Porøsitet - luft	0,9 vol.%	1,8 vol.%	1,6 vol.%	2,1 vol.%	0,3 vol.%	1,8 vol.%

Det kan ikke udelukkes at porøsiteten, udtrykt ved mængden af luft har indflydelse på forekomst af vækst. Hvor luftporer ligger meget tæt på overfladen ses nedtrængning af vækst i disse. Dog skal man være opmærksom på at ovenstående resultater kan være påvirket af at tagsten ofte er mere tilbøjelige til at blive begroet i bunden hvor vandpåvirkningen er størst.

Tabel 8.5: Mikroanalyse af betontagsten

Prøvemærke	2.2	2.2	240-1	240-1	240-2	240-2
Placering af slib	Vinge (top)	Bund	Top	Bund	Top	Bund
Porøsitet - v/c - Luft	0,5 6,9%	0,5 8,5%	k.i.b.* 12,8%	k.i.b.* 8,4%	k.i.b.* 6,1%	k.i.b.* 6,1%
Tilslagskorn Cementpasta	52,7 vol.% 40,4 vol%	52,5 vol.% 39,0 vol.%	50,8 vol.% 36,4 vol.%	50,2 vol.% 41,4 vol.%	49,1 vol.% 44,8 vol%	49,7 vol.% 44,2 vol.%
Overfladebehandling Intakt maling Sur påvirkning	Ja Ja	Nej	Nej Let/normalt	Nej Let	Ja Spor	Ja Ca. 50%
Vækst	Slib i bund lagt igennem lav: Xanthoria parietina, epilithisk Slib på vinge tyder på endolithisk art. Kan ikke fastslås hvilken. Vækst på vinge kun beskeden.		Slib i bund lagt igennem vækst bestående mest af mos. Slib på vinge lagt i område med ringe vækst.		Slib lagt igennem Caloplaca saxicola. Slibet tyder på at denne lav er endolithisk Slib på vinge lagt i område med ringe vækst.	

* k.i.b.: kan ikke bestemmes.

Porøsiteten, udtrykt ved vandcementforholdet (v/c), har kun kunnet vurderes på én sten. Der ses her ingen forskel i v/c i områder med vækst og områder uden.

Porøsiteten, udtrykt ved indholdet af luftporer, synes ikke at have indflydelse på forekomst af vækst. Hvor der forekommer vækst ses nedtrængning i porer meget tæt på overfladen (0,5 mm fra denne).

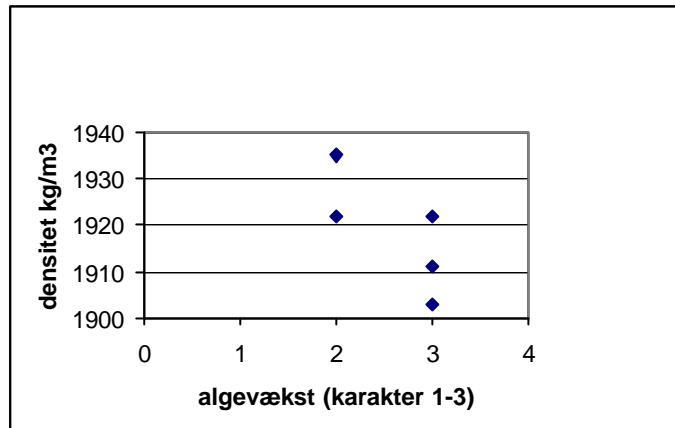
På malede overflader ses hovedsagelig vækst, hvor malingen er nedbrudt/gennembrudt. I disse områder ses nedtrængning langs sten tæt på overfladen. Det er ikke muligt at afgøre, om det er væksterne der gennembryder malingen eller om de trænger ned, hvor malingen i forvejen er gennembrudt. Det kan dog ikke udelukkes at væksten kan medvirke til nedbrydning af malingslag, hvor underliggende porøsiteter giver svagheder i malingen.

8.3.1 Litteraturens oplysninger om betydning af porøsitet

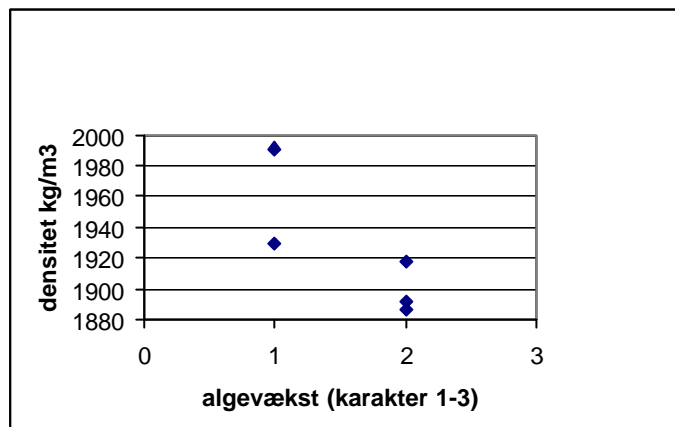
På Gordon University i Aberdeen er der lavet en række undersøgelser af biologisk vækst på sandsten. I følge [31] er der 2 typer af porøsitet der har betydning for forekomsten af biologisk vækst. Dels den totale effektive porevolumen, som bestemmer mængden af vand der kan tilbageholdes af sandstenen og dels fordelingen af porestørrelser, som bestemmer tilgængeligheden af vandet og den plads der er tilgængelig inde i materialet til vækst. Størrelsen af organismen afgør en mindste grænse for hvilke porestørrelser væksten kan gro i. Generelt gælder det, at porestørrelse mindre end 10 μm kun er tilgængelige for bakterievækst. Alger findes dog ofte på sandstenenes overflade, og overfladevæksten er kun påvirket af porøsiteten i den udstrækning det influerer på tilgængeligheden af fugt og overfladeruheden. Alger kan dog også forekomme under overfladen. Hvor dybt fotosyntetiserende vækster kan forekomme afhænger af lysets gennemtrængelighed. Således har porestørrelsesfordelingen stor indflydelse på de organismer der kan kolonisere materialet under overfladen.

8.4 Densitet

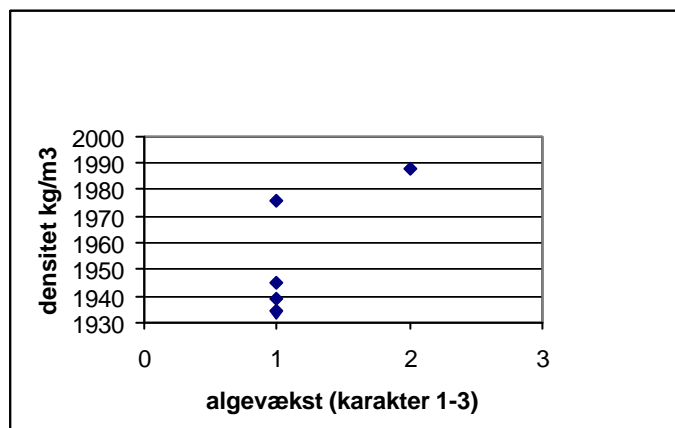
En evt. relation mellem vandoptagelse og algevækst er undersøgt for 20 sten udtaget fra 4 tagflader fra samme boligforening. Tagstenene er gule vingetegltagsten. Omfanget af algevækst på stenens oversider blev bedømt efter skalalen 0-1-2-3. Hvor 0 er ingen algevækst. Resultaterne fremgår af følgende 4 figurer:



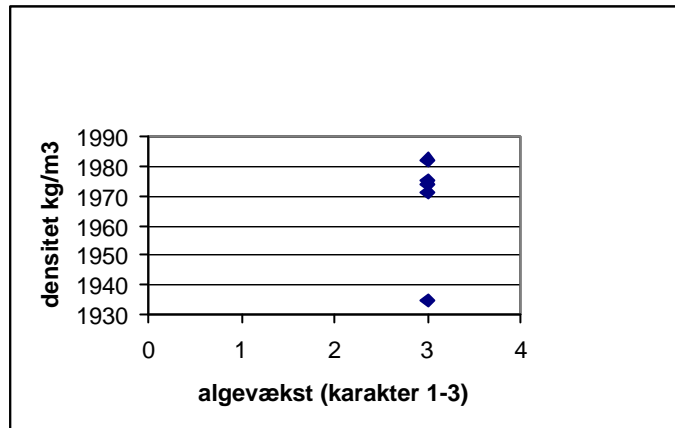
Figur 8.1: Relation mellem densitet og algevækst, nordside



Figur 8.2: Relation mellem densitet og algevækst, sydside



Figur 8.3: Relation mellem densitet og algevækst, østside



Figur 8.4: Relation mellem densitet og algevækst, vestside

Lignende undersøgelse er lavet på 15 gule vingetagsten fra 4 andre byggerier med tilsvarende resultater.

Derudover er densiteten bestemt på følgende prøver der parvis kan sammenlignes som markeret:

Tabel 8.6: Relation mellem densitet og vækst

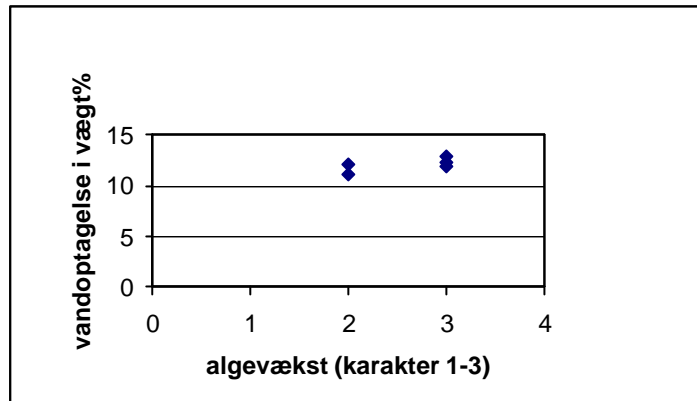
Prøvemærke	Densitet kg/m ³	Vækst
Tegl		
50.1	1939	ingen vækst, sten har ikke været oplagt
50.2	1903	let grønalg vækst
50.3	1914	kraftigere grønalg vækst
5.2	1703	lavvækst, kraftigere end 5.3
5.3	1700	lav vækst
11.1	1928	grønalg vækst
13.1	1914	lavvækst, kraftigere vækst end 13.2
13.2	1949	lav og grønalg
30SIII	1892	lavvækst, svag
40VIII	1971	lavvækst, kraftig
Beton		
2.1	2216	grønalg + lav
2.2	2159	grønalg + lav. Kraftigere lavvækst end 2.1
240-1	2072	kraftig begroning, alger, mos, lav
240-2	2191	begroning af lav

Resultaterne afslører ingen entydig sammenhæng mellem densitet og algevækst.

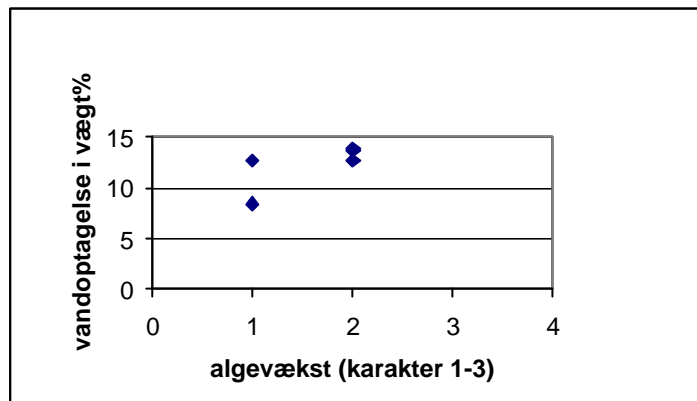
Der er ingen litteraturoplysninger fundet vedr. betydningen af materialernes densitet for forekomst af vækst.

8.5 Vandoptagelse og minutsugning

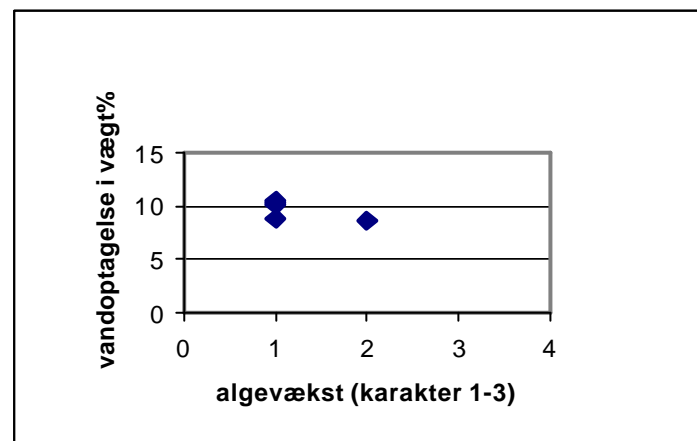
En evt. relation mellem vandoptagelse og algevækst er undersøgt for 20 sten udtaget fra 4 tagflader fra samme boligforening. Tagstenene er gule vingeteglsten. Omfanget af algevækst på stenens oversider blev bedømt efter skalalen 0-1-2-3. Hvor 0 er ingen algevækst. Resultaterne fremgår af følgende figurer (vandoptagelsen i vægt%):



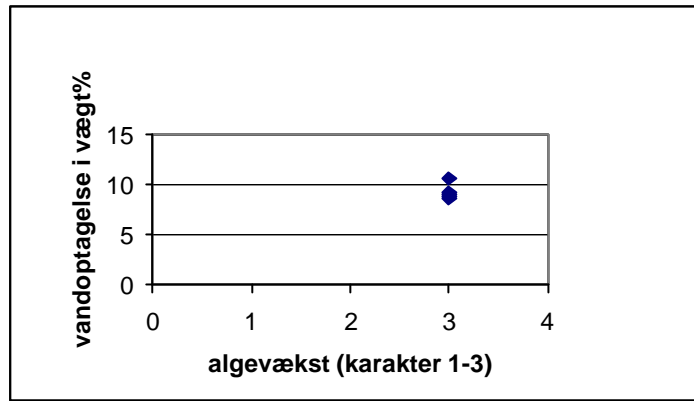
Figur 8.5: Relation mellem vandoptagelse og algevækst, nordside



Figur 8.6: Relation mellem vandoptagelse og algevækst, sydside



Figur 8.7: Relation mellem vandoptagelse og algevækst, østside



Figur 8.8: Relation mellem vandoptagelse og algevækst, vestside

Lignende undersøgelse er lavet på 15 gule vingetagsten fra 4 andre byggerier, med tilsvarende resultater.

Derudover er vandoptagelsen bestemt på følgende tagsten der kan sammenlignes som markeret:

Tabel 8.7: Relation mellem vandoptagelse og vækst

Prøvemærke	Vandoptagelse i rumprocent	Vandoptagelse i vægt%	Vækst
Tegl			
50.1	18.5	9,5	ingen vækst, sten har ikke været oplagt
50.2	20.0	10,5	let grønalg vækst
50.3	20.5	10,7	kraftigere grønalg vækst
5.2	29.9	17,6	lavvækst, kraftigere end 5.3
5.3	29.6	17,4	lav vækst
11.1	19.1	9,9	grønalg vækst
13.1	20.3	10,6	lavvækst, kraftigere vækst end 13.2
13.2	20.2	10,4	lav og grønalger
30SIII	-	13,7	lavvækst svag
40VIII	-	9,3	lavvækst, kraftig
Beton			
240-1	9.0	4,3	kraftig begroning, alger, mos, lav
240-2	5.0	2,3	begroning af lav
2.1	4.2	1,9	grønalger + lav
2.2	3,4	1,6	grønalger + lav. Kraftigere lavvækst end 2.1

Resultaterne afslører ingen entydig sammenhæng mellem vandoptagelse og algevækst.

8.5.1 Litteraturens oplysninger om betydning af vandoptagelse

I undersøgelse udført af Institut für Ziegelforschung Essen e.V. [20] har der indgået materialer med både meget lav og meget høj vandoptagelse. Undersøgelsen blev gennemført som et fritlandsforsøg, hvor prøver over længere tid blev udsat i fri luft og løbende vurderet med hensyn til biologisk vækst. Materialernes vandoptagelse blev ikke separat vurderet at være en parameter der isoleret set er betydende. Det konkluderes, at "alle forholdsregler, der ned sætter tagets fugtighedsindhold, bidrager til at hindre mos og algedannelse". Alt i alt vurderes reduktionen af middel fugtigheden af et tegltag at være den vigtigste forholdsregel til forhindring af algedannelse og mosdannelse.

I [19] refereres til en artikel af Brightman (1965) hvori, der konkluderes at vandoptagelse, pH og overfladeruhed har betydning for lavvækst.

8.6 Minutsugning

Det har i projektforsøget ikke været muligt at få lov til at udtage tilstrækkeligt med bevoksede mursten til at en vurdering af minutsugets evt. betydning for vækst har været mulig.

Der er heller ikke i litteraturen fundet oplysninger om minutsugets specifikke betydning. Reduktion af minutsug vil dog ved kortvarig vandpåvirkning medvirke til at nedsætte vandoptagelsen og dermed reducere fugtindholdet.

Stens minutsug vil efter ibrugtagning ændres i forhold til produktionsnye sten pga. udfældninger på overfladen, tilsmudsning mv.

8.7 Fordampningshastighed

8.7.1 Indledning

For tegltagsten er det et velkendt fænomen, at evnen til at afvise vand først indtræder en vis periode efter oplægning. Denne ændring af stenen må forventes også at kunne have en indflydelse på vandets fordampningshastighed fra stenene. Derfor kan man ikke umiddelbart, ud fra undersøgelser af nye sten, afrapportere den reelle vandfordampningshastighed efter oplægning.

For en betontagsten må det også formodes at fordampningshastigheden ændres, efterhånden som carbonatisering indtræder og nedbrydning af evt. malingsslag med tiden finder sted.

I det følgende er der gennemført en sammenligning af parvis sammenhørende sten med forskellig grad af biologisk vækst. Resultaterne kan ikke anvendes til at vurdere, om fordampningshastigheden fra nyoplagte sten har indflydelse på, hvor hurtigt der kommer biologisk vækst. Resultaterne kan alene anvendes til at vurdere, om fordampningshastigheden er påvirket af øget vækst.

8.7.2 Sorptionsisotermer

Porøse materialer indeholder vand, selv når de umiddelbart forekommer at være tørre. Vandindholdet afhænger af den omgivende lufts relative fugtighed og materialets porestruktur. Porøse materialer vil optage eller afgive fugt, indtil de når en ligevægtstilstand med den omgivende lufts fugtindhold.

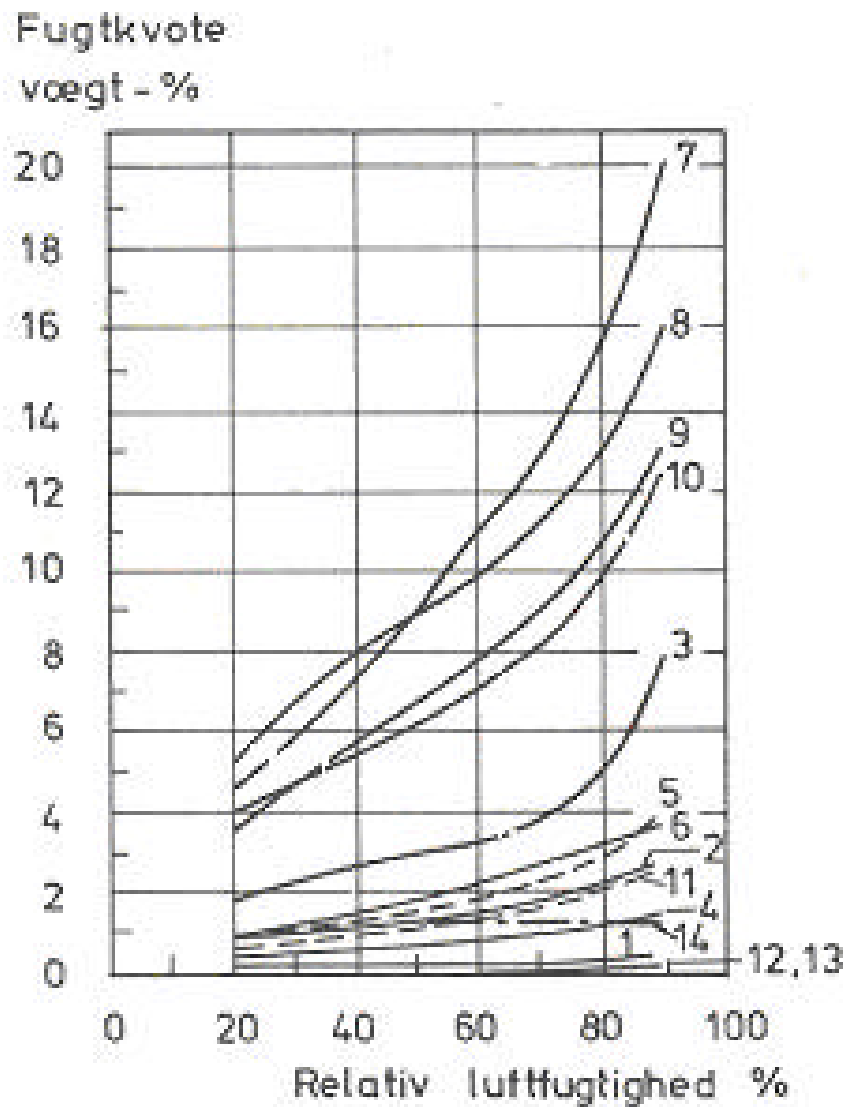
Kurver der viser materialers vandindhold i ligevægt med luft af forskellig fugtighed kaldes fugtligevægtskurver eller sorptionsisotermer. Et materiales vandindhold angiver vægten af det optagne vand i procent af materialets tørvægt.

I mange tilfælde kan materialer komme til at indeholde væsentligt mere vand, end hvis de var i ligevægtstilstand med den omgivende lufts fugtighed. Det kan skyldes nedbør og kondensation. Udtørring bringer vandindholdet ned mod ligevægtstilstanden med den omgivende luft.

Den hastighed, hvormed udtørring kan ske, afhænger af den omgivende lufts temperatur og fugtindhold og dermed af udluftningen. Den drivende kraft ved

udtørringen er forskellen mellem vanddampindholdet i den omgivende luft og i luften inde i materialernes porer.

Følgende figur 8.9 viser eksempler på sorptionsisotemer for en række forskellige byggematerialer.



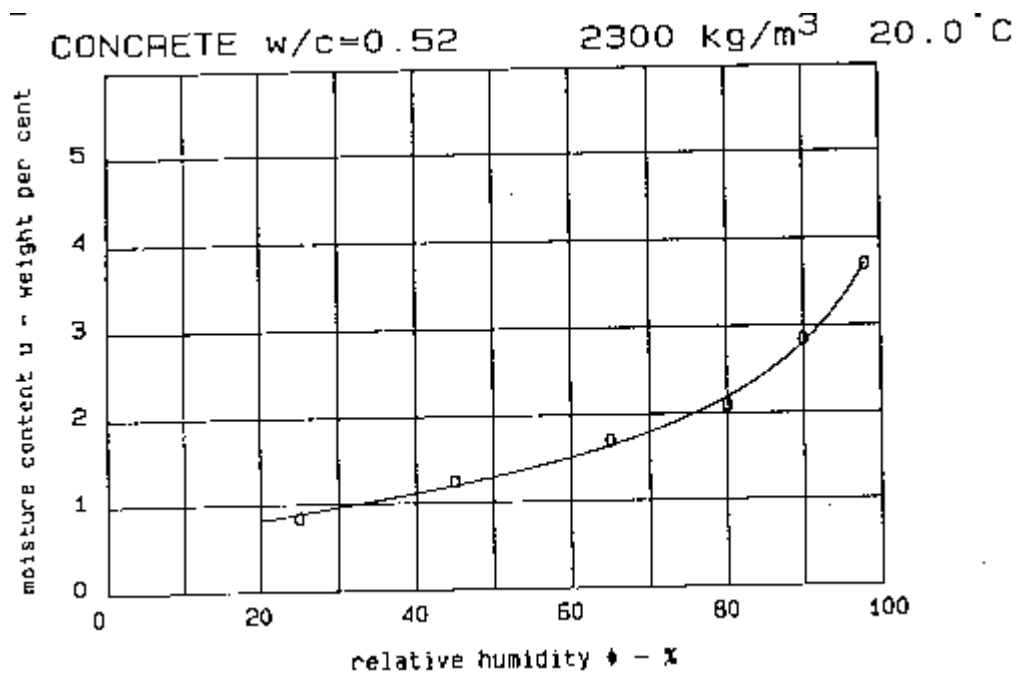
Figur 8.9: Sorptionsisotemer for 14 forskellige byggematerialer

Nummerering samt materialernes relative densitet fremgår af følgende figur 8.10. Densiteten af hård træfiberplade er sat til 1,0 [35].

1. Tegl	(1,5)
2. Beton	(2,1)
3. Gasbeton	(0,55)
4. Kalkmørtel	(1,8)
5. K.C.-mørtel	(1,9)
6. Cementmørtel	(2,0)
7. Træ	(0,43)
8. Porøs træfiberplade	(0,25)
9. Hård træfiberplade	(1,0)
10. Trældplade	(0,28)
11. Kork	(0,1)
12. Mineraluld	(0,07)
13. Styrenskumplast	(0,01)
14. Karbamid	(0,01)

Figur 8.10: Relative densiteter

Figur 8.11 viser en sorptionsisoterm for en betonprøve, [36].



Figur 8.11: Sorptionsisoterm for en betonprøve

Ved sammenligning af udtøringshastigheder er det porernes mætning af vand/
relative fugtighed der er den egentlige interessante parameter. Er materialer-
nes sorptionsisoterm bestemt, kan det totale vandindhold i vægtprocent af
materialets tørvægt dog være en lige så beskrivende parameter.

I de efterfølgende sammenligninger af vandindholdet (%) er sammenlignin-
gerne derfor kun udført for materialer, som må antages at have samme sorpti-
onsisoterm/
ligevægtsfugtkurve. Der kan f.eks. kun sammenlignes tegl fra samme tag og
med tilsvarende sammensætning/brænding.

8.7.3 Konkrete målinger af fordampningshastighed

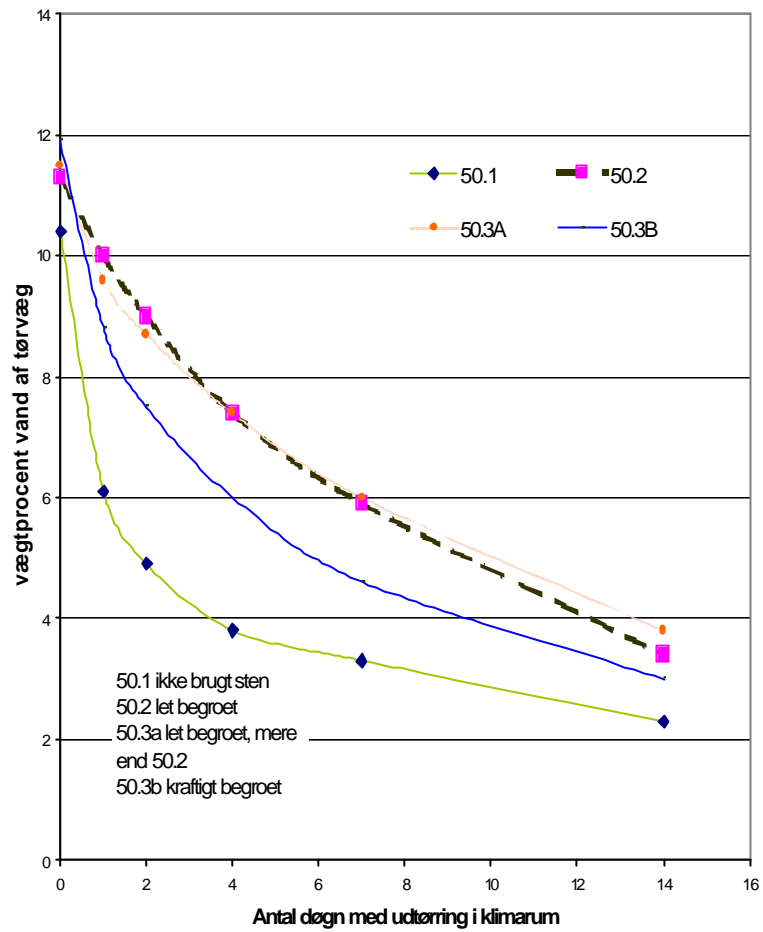
På en række tagsten med biologisk vækst er fordampningshastigheden be-
stemt. Metoden er beskrevet i afsnit 6.4.

Fordampning fra tegltagsten

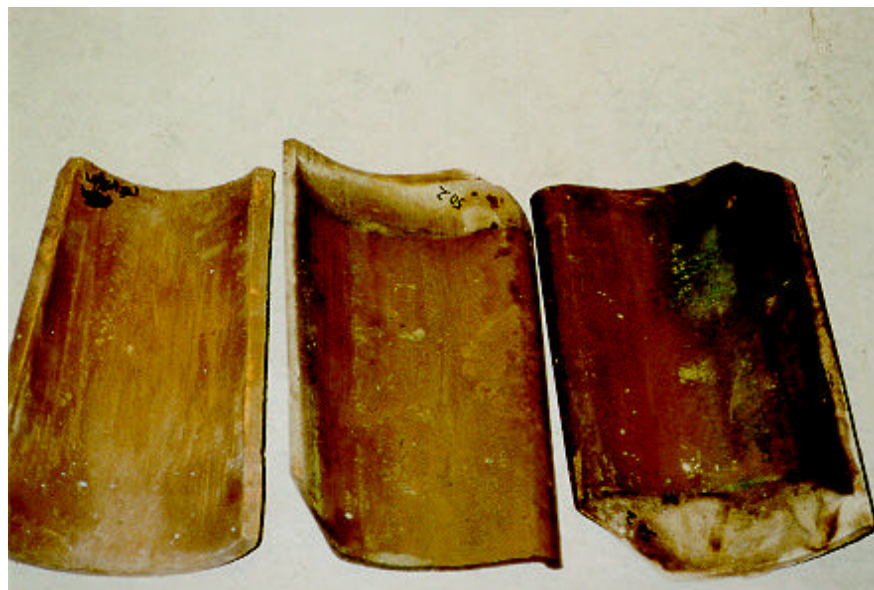
Prøve 50.1, 50.2 og 50.3 er en orienterende undersøgelse af ændringen af for-
dampningshastighed, idet 50.1 er en ubrugt sten, 50.2 en let begroet sten og
50.3 en moderat begroet sten fra samme tagflade.

Følgende figur 8.12 viser forskellen i fordampningshastighed mellem en ny
ubrugt sten, 2 let begroede sten (50.3a vurderes lidt mere begroet end 50.2),
og en mere kraftigt begroet sten:

Vandindhold



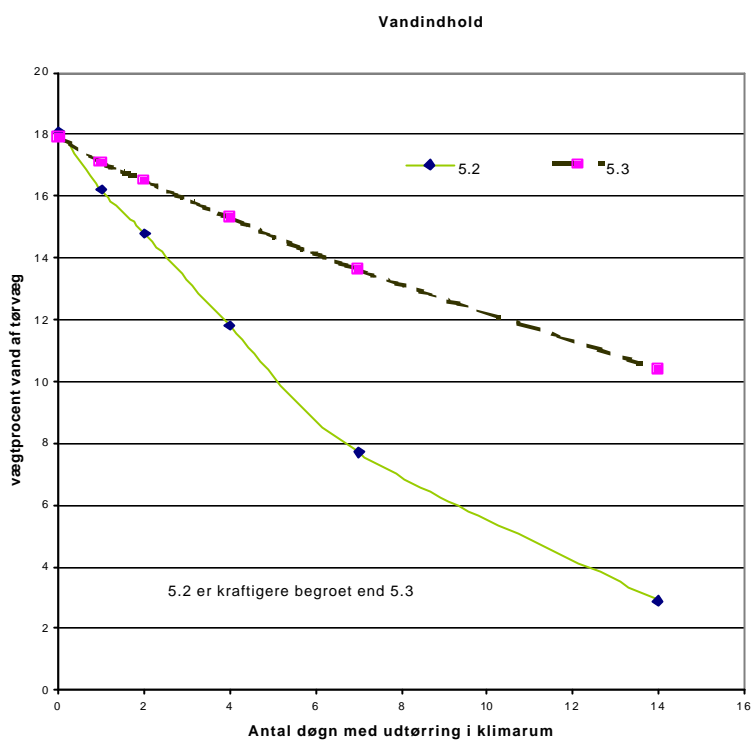
Figur 8.12: Tegltagsten, mangan, algebegroning, 18 år



Figur 8.13: Tegltagsten 50.1, 50.2 og 50.3. 50.3 blev skåret i 2 dele inden fordampningsforsøg

Der er markant hurtigst fordampning fra den sten, der ikke har været oplagt på tag. Dette er i fuld overensstemmelse med det velkendte fænomen, at stenene først tætnes efter oplægning. Kurverne for figur 50.2, 50.3a og 50.3b viser, at stenen med mest algevækst har den hurtigste fordampning af vand.

Følgende kurver viser tilsvarende sammenligninger af parvist udvalgte sten. Figur 8.14 viser forskellen på fordampningshastighed for 2 gule tegltagsten. 5.2. er kraftigere begroet end 5.3.



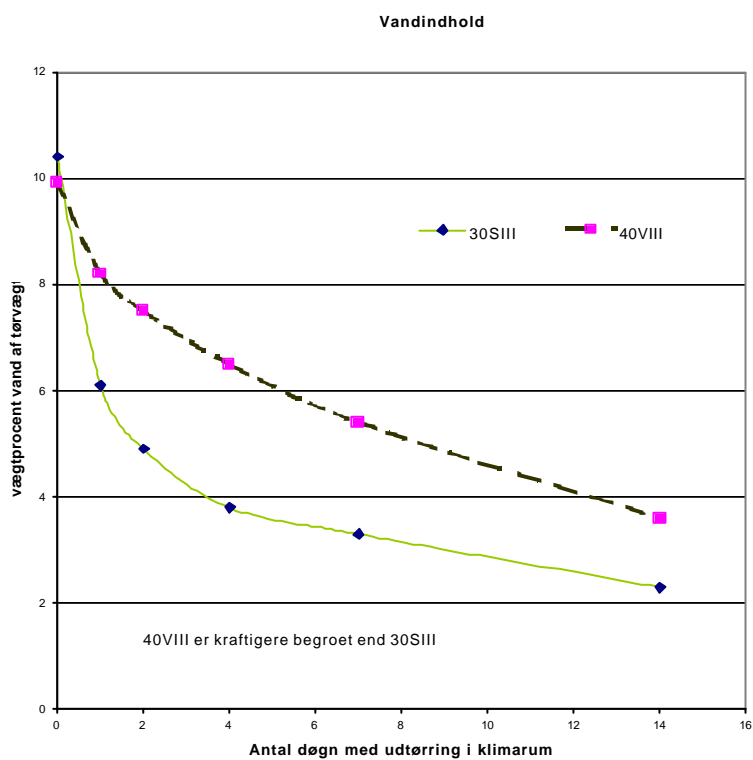
Figur 8.14: Tegl tagsten, gule, primært lavvækst + lidt alger, 44 år



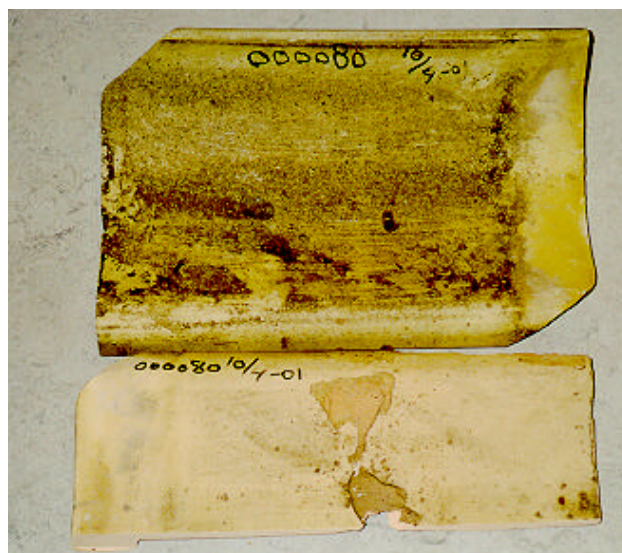
Figur 8.15: Tegltagsten 5.2 og 5.3

Igen ses hurtigst vandfordampning fra sten med mest vækst.

Figur 8.16 viser forskellen på fordampning fra 2 gule tegltagsten med lavvækst. 40VIII er kraftigere begroet end 30SIII.



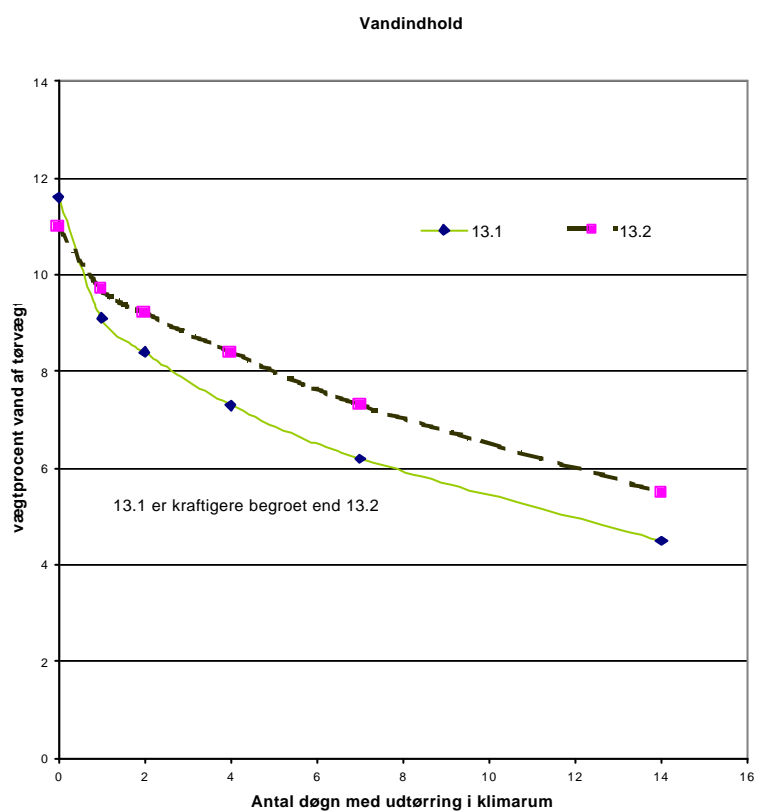
Figur 8.16: Tegltagsten, gule, lavvækst, alder ukendt (forholdsvis gamle)



Figur 8.17: Tegltagsten foroven 40VIII; Tegltagsten forneden 30SIII

Igen ses hurtigst vandfordampning fra sten med mest vækst.

Figur 8.18 viser forskellen i fordampning mellem 2 røde tegltagsten. 13.1 er kraftigere begroet end 13.2.



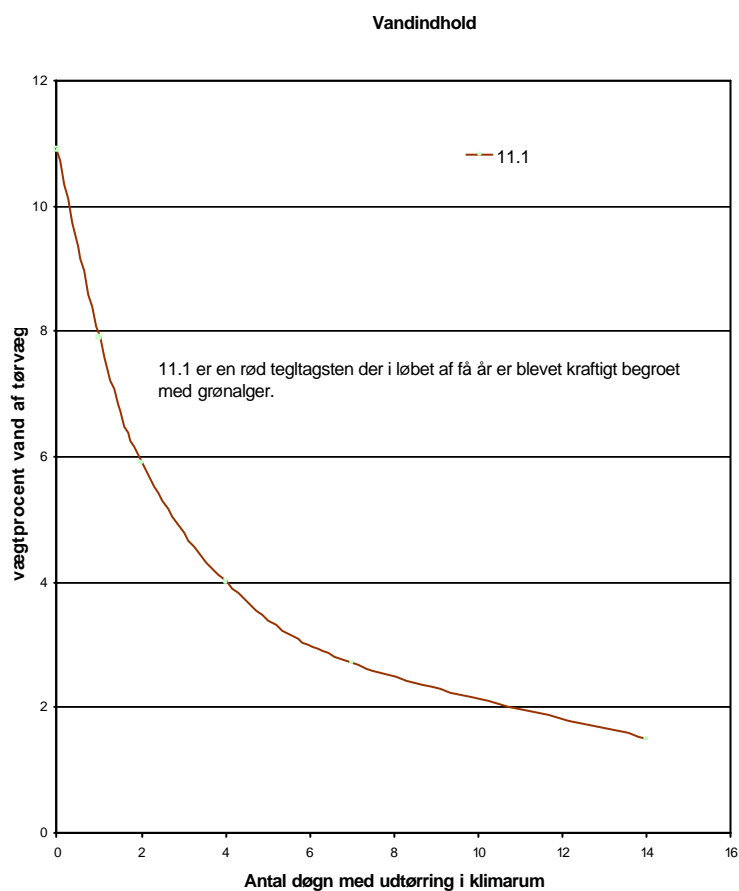
Figur 8.18: Tegltagsten, røde, lav+alger, 16 år



Figur 8.19: Tegtagsten 13.1 og 13.2

Igen ses hurtigst vandfordampning fra sten med mest vækst.

Figur 8.20 viser fordamningshastigheden af en rød tegtagsten, som er blevet kraftigt bevokset med alger i løbet af få år.



Figur 8.20: Rød tegl tagsten, grønalg, 5 år



Figur 8.21: Tegltagsten 11.1

Følgende tabel 8.7 viser et overblik over oplysninger vedr. de teglsten, hvor fordampningshastigheden er undersøgt.

Stenene er ikke direkte sammenlignelige (bortset fra sten med samme nr. foran punktum), da der er forskel på materialesammensætning, porøsitet, alder og andre faktorer, der må forventes at have indflydelse på fordampningshastigheden.

Data er sammenholdt med resultaterne afbildet i figur 8.14; 8.16; 8.18; og 8.20. Der synes ikke at kunne drages nogen entydige konklusioner vedr. alder, kalkindhold eller begroning ud fra den samlede oversigt.

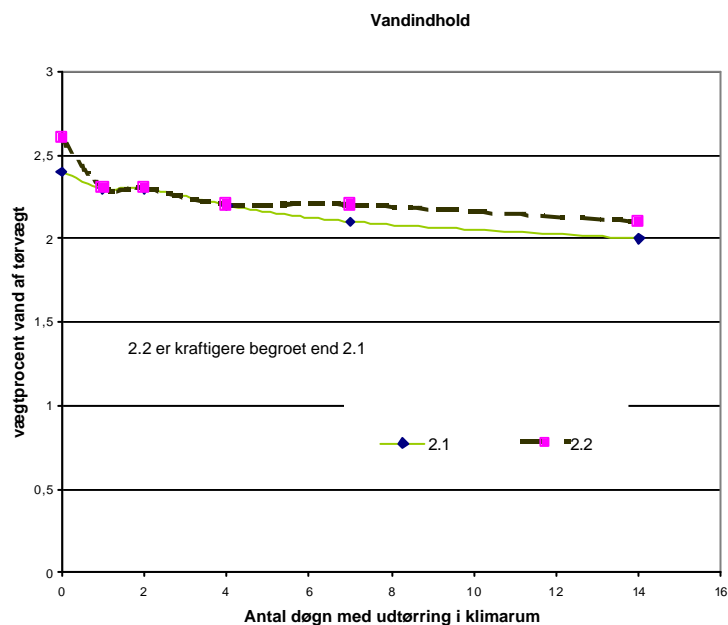
Tabel 8.7: Oversigt over tegl tagsten

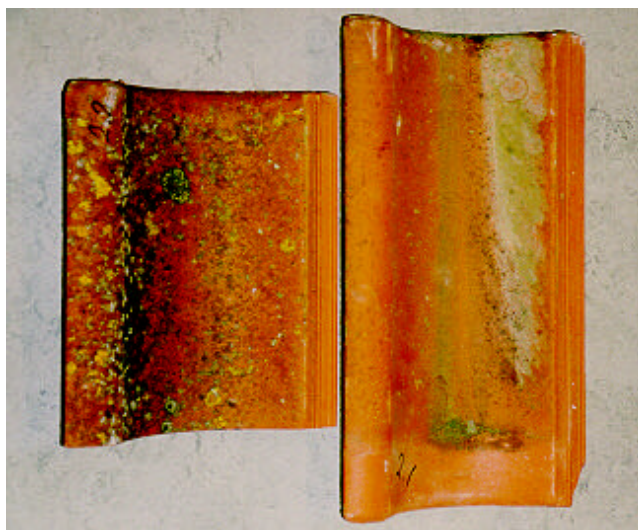
Prøve:	5.2	5.3	11.1	13.1	13.2	30SIII	40VIII	50.2	50.3b
Farve	Gul	Gul	Rød	Rød	Rød	Gul	Gul	Mangan	Mangan
Alder	44 år	44 år	5 år	16 år	16 år	? (gl.)	?(gl.)	20 år	20 år
Vækst	Lav	Lav	Alger	Lav	Lav+ Alger	Lav	Lav	Alger	Alger

Fordampning fra betontagsten

Figur 8.21 viser forskellen på fordampningshastighed af 2 betontagsten med forskellig grad af begroning (primært laver). 2.2 er kraftigere bevokset end 2.1

Figur 8.21: Betontagsten, røde, 7 år

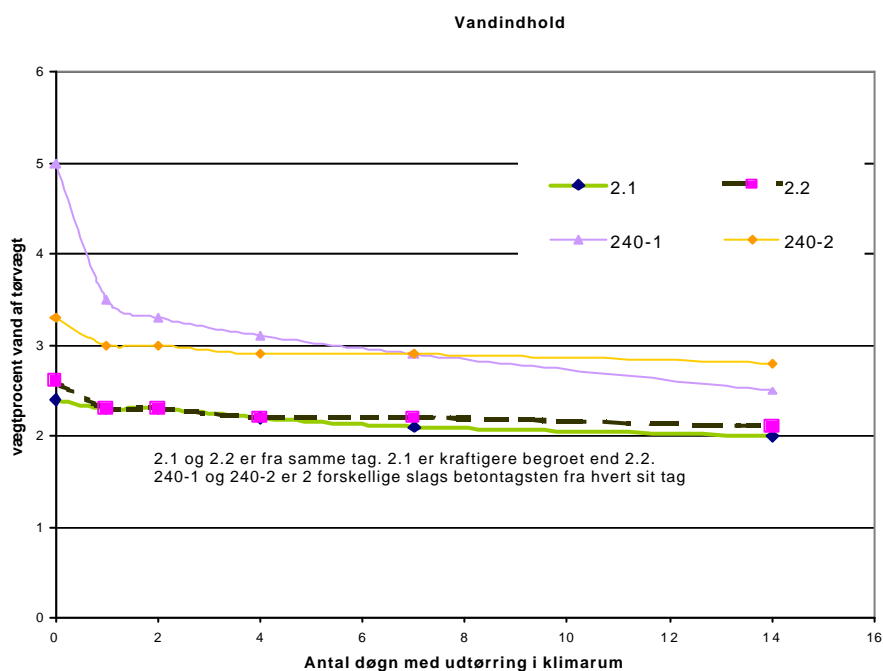




Figur 8.22: Betontagsten 2.2 og 2.1

Vandfordampningen fra den kraftigst begroede sten er hurtigst. Efter 14 dages udtørring er vandindholdet i vægtprocent dog næsten ens.

Følgende figur 8.23 viser forskellen på fordampning for de undersøgte betontagsten.



Figur 8.23: Fordampning fra betonsten

Tabel 8.8: Oversigt over betontagsten

	2.1	2.2	240-1	240-2
Alder	Ca. 8 år	Ca. 8 år	Ca. 40 år	Ca. 25 år
Vækst	Grønalger + lav	Grønalger + lav Kraftigere vækst end 2.1	Kraftig vækst af alger, mos, lav	Lav
Overfladebehandling	Ja	Ja	Nej Sur påvirkning	Ja (delvist nedbrudt)

Stenene er ikke direkte sammenlignelige, da der er forskel på materialesammensætning, porøsitet, alder, overfladebehandling og andre faktorer der må forventes at have indflydelse på fordampningshastigheden, ligesom der ikke kan forventes sammenlignelige sorptionsisotermer.

Der ses dog en markant hurtigere fordampning fra den ældste sten med kraftigst begroning. Tyndslibsundersøgelserne har vist en let sur påvirkning af 240-1's overflade (sur regn). Dette må forventes at være medvirkende til hurtigere fordampning

8.7.4 Kommentering af resultater vedr. fordampningshastighed

Følgende skema viser en oversigt over startvandindholdet og slutvandindholdet efter 14 dages tørring i klimarun v. 20°C, 65% RH.

Tabel 8.9: Oversigt over vandindhold i vægtprocent ved fuld opfugtning og efter hhv. 2 og 14 dages tørring

Prøvemærke	Prøvebeskrivelse	Startvandindhold Vægt%	Vandindhold efter 2 dages tørring Vægt%	Vandindhold efter 14 dage Vægt %
Tegl				
50.1	Brunt tegl, ubrugt	10,4	4,9	2,3
50.2	Brunt tegl, let begroet af alger	11,3	9,0	3,4
50.3A	Brunt tegl, lidt kraftigere begroet af alger end 50.2	11,5	8,7	3,8
50.3B	Brunt tegl, kraftig algevækst	11,9	7,5	3,0
30SIII	Gult tegl, lavvækst	14,8	13,1	9,5
40VIII	Gult tegl, kraftigere lavvækst end 30SIII	9,9	7,5	3,6
13.1	Rødt tegl, lav + algevækst, kraftigere begroet end 13.1	11,6	8,4	4,5
13.2	Rødt tegl, lav + algevækst.	11,0	9,2	5,5
11.1	Rødt tegl, algevækst	10,9	5,9	1,5
5.2	Gult tegl, lavvækst, kraftigere begroet end 5.3	18,1	14,8	2,9
5.3	Gult tegl, lavvækst	17,9	16,5	10,4
Beton				
240-1	Betontagsten Alger, mos, lav	5,0	3,3	2,5
240-2	Betontagsten Primært lav	3,3	3,0	2,8
2-1	Rød betontagsten, algevækst + lavvækst.	2,4	2,3	2,0
2-2	Rød betontagsten, primært lavvækst Kraftigere begroet end 2.1	2,6	2,3	2,1

Prøve 11.1 (rødt tegl) når ved udtørring i 14 dage et væsentligt lavere vandindhold end de resterende prøver (1,5 vægt %). Da de forskellige prøvers sorptionsisotermer ikke er fastlagt, og kan det være misvisende direkte at sammenligne slutvandindholdet mellem forskellige materialer.

Om prøve 11.1 er det oplyst, at den i løbet af få år blev kraftigt begroet med grønalger. Der er således intet der tyder på, at den hurtige fordampning af vand er tilstrækkelig til at mindske mulighederne for vækst. Den hurtige fordampning er måske snarere et udtryk for en høj porøsitet i overfladen, som kan være medvirkende til at give gunstige betingelser for vækst, jf. afsnit 8.3. Tyndslibsanalyserne viste, at en relativt høj andel af magringskorn i prøve 11.1 og en lidt højere porøsitet sammenlignet med prøve 13.1 (rød tegltagsten). For en reel sammenligning af fordampningshastighed og betydningen for mulighederne for vækst for prøve 11.1 i forhold til 13.1 bør sorptionsisotermerne for de to materialer dog fastlægges.

Derimod kan det godt forsvares at sammenligne stenene indbyrdes i sæt som markeret i skemaet, da de sammenlignede sten stammer fra samme produktion, og derfor kan antages at have sammenlignelige sorptionsisotermer. For samtlige undersøgte sæt af sten gælder det, at der er hurtigst fordampning fra sten med mest bevoksning. Dette er i modstrid med den gængse opfattelse af, at væksten holder på fugten.

Der er i indeværende projekt ikke gennemført yderligere undersøgelser der kan forklare denne sammenhæng. Et bud på en forklaring kan være at vækstens struktur øger overfladearealet og/eller nedsætter overfladespændingen, og hermed letter muligheden for fordampningen fra stenen.

Bygge og Boligstyrelsen har i 1993 udgivet en rapport om facadebeplantning [32]. I denne rapport konkluderes, at passage af fugt indefra ikke hindres af beplantning. Rapporten afviser ligeledes på baggrund af nogle fugtmålinger, at stillestående luftlag bag løvdækket medfører en uheldig ophobning af fugt ved muren, selvom planterne afgiver vand til luften som led i deres biologiske processer. Luftfugtigheden under løvdækket er mindre end foran løvdækket og mindre end foran mure uden beplantning. Rapporten konkluderer, at det må afvises at fugtskader kan opstå som følge af facadebeplantning.

Selvom facadebeplantning (efeu, løv mv.) ikke er helt sammenlignelige med alger og lav, er rapporten dog i overensstemmelse med indeværende rapporters konklusioner.

8.8 Næringsstoffer

Indledning

Der er gennemført enkelte orienterende undersøgelser vedrørende betydningen af materialernes indhold af næringsstoffer.

Betydningen af næringsstoffer i malinger og andre overfladebehandlinger er ikke undersøgt i tilstrækkelig grad i indeværende projekt til at der kan drages konklusioner herom.

Valg af analysemetode

Ved vurdering af materialernes indhold af næringsstoffer er det naturligvis væsentligt at overveje hvilken analysemetode der skal anvendes for at fastlægge den for væksterne tilgængelig del af næringsstoffer.

Da de forskellige vækstarter i større eller mindre grad udskiller affaldsstoffer der lokalt må formodes at ændre pH kan det dog være vanskeligt at afgøre om det er mest korrekt at fastlægge

- vandopløseligt indhold
- syreopløseligt indhold

- totalt indhold

Ved den i det følgende anvendte analyse med røntgenteknik fastlægges totalindholdet og dermed den maksimalt tilgængelige mængde af næringsstof.

Gennemførte analyser

Der er lavet kemisk analyse ved røntgenteknik (Phillips PW 2400/UNIQUANT, ver. 4.51) på 2 røde tegltagsten. Stenene har ikke været oplagt på tag (stenene har været opbevaret af husejerne som ekstra sten til evt. udskiftning). For prøve 51.2. kan det oplyses, at de oplagte sten på mindre end 1½ år er blevet begroet med en jævn film af grønalger i løbet. Husejeren oplyser, at der ikke på nabotagene kan konstateres lignende algedannelse selv om flere af de andre tage er væsentligt ældre. For prøve 52.1. har sten fra samme parti været oplagt i 20 år. Der er efter 20 år også her algevækst, men generelt blot en moderat patinering bortset fra i de områder hvor store skyggegivende træer i de senere år har givet gode betingelser (også andre former for vækst, f.eks. mos ved overlap samt områder med lavvækst).

Resultaterne af analyserne er vist i det følgende tabel 8.10:

Tabel 8.10: Kemisk analyse af 2 røde tegltagsten

Grundstof	Prøve 51.2, rød tegltagsten	Prøve 52.1, rød tegltagsten
Na	0,84	0,95
Mg	0,98	1,1
Al	7,7	7,5
Si	32	32
P	0,055	0,072
S	0,069	0,040
K	2,5	2,7
Ca	1,8	2,6
Ti	0,54	0,47
V	0,015	0,013
Cr	0,014	0,008
Mn	0,072	0,062
Fe	4,5	4,3
Ni	0,007	0,006
Cu	0,002	0,002
Zn	0,009	0,009
Zr	0,039	0,027
Pb	0,003	0,004

Analyseresultaterne viser kun små forskelle i totalindholdet af natrium (Na), kalium (k), fosfor (P),

Den væsentligste forskel ligger i indholdet calcium hvor der er 1,8% i 51.2 og 2,6% i 52.1. Dvs. der er et lavere indhold af calcium i det materiale der har været mest disponeret for kraftig algevækst. Dette stemmer overens med at der er målt et højere pH i prøve 52.1 end 51.2.

Der er dog således på baggrund af totalanalyserne intet der indikerer, at årsagen til at 51.2. hurtigere blev begroet med grønalger end 52.1 er forskelle i næringsstoffer fra teglmaterialet.

Analyserne viser at de analyserede teglsten ikke indeholder elementer der kan forventes at være giftige overfor væksterne.

Besigtigelser

På en række at de besigtigede konstruktioner har der også været tegn på forskelle i vækst på sammen tagkonstruktion afhængigt af om området var modtager af biologisk materiale fra nærtstående træer eller ej. F.eks. er der set ten-

dens til mere lavvækst i områder, hvor meget biologisk materiale fra birketræer er aflejret.

Øvrige erfaringer

Tilført rensmiddel, f.eks. vinduespuds indeholdende ammoniumforbindelser har ifølge Teknologisk Institut, Biotekniks erfaringer vist øget skimmelsvampvækst på træværk. Tilsvarende formodes rensmidler indeholdende fosfor eller ammonium at kunne øge muligheden for vækst på murværk, tegl- og betontage.

8.8.1 Litteraturens oplysninger om betydning af næringsalte

For alger vurderes nitrogen og fosfor i følge [1] at være de mest betydningsfulde næringsstoffer. I følge [1] kan nogle typer alger optage nitrogen fra luften mens de fleste alger optager det fra den tilsmudsning der sidder på materialernes overflade. Den hollandske artikel støtter således Teknologisk Instituts opfattelse af at det med hensyn til næringsstofferne er mere betydningsfuld hvad der tilføres fra omgivelserne (fra luft, snavs, evt. rensmidler mv.) end hvad der er af næringsstoffer i selve materialerne.

I litteraturen [8] oplyses om forsøg med sandsten hvor rensning med fosforsyreholdige midler gav øget vækst i en periode på 1½ år efter rensning. Dette blev begrundet med at der i denne periode var en større mængde tilgængelig fosfor, som kunne anvendes som næringsstof for algerne.

Det bør ligeledes nævnes, at organismer kan danne næring for efterfølgende organismer ved succession, [1]. Cyanobakterier og grønne alger kan give næring til laver. Cyanobakterierne anses for at have stor vigtighed, da de er bestandige mod udtørring ved høje temperaturer. Den lokale kvælstofberigelse fra alger eller cyanobakterier virker således stimulerende på udviklingen af andre organismer.

[20] I tidligere omtalte undersøgelse udført af Institut für Ziegelforschung, Essen konkluderes, at materialernes indhold af plantenæringsstoffer er uden væsentlig indflydelse på forekomsten af biologisk vækst.

Ifølge [28] har næringsstoffer fra smudspartikler, pollen og organiske tilsætningsstoffer i pudsmørtler og lignende betydning for væksten af svampe, mens alger derimod kun er afhængig af kuldioxid, kvælstof og sollys. I artiklen nævnes at øget algevækst i de senere år ofte kædes sammen med en forbedret luftkvalitet.

8.9 Overfladens ruhed

Overfladens ruhed er undersøgt på udvalgte prøver ved mikroanalyse af tyndslib.

Det må forventes at overfladens ruhed kan påvirke følgende faktorer

- vækstens vedhæftning
- muligheden for små "vandfælder" i ujævnhederne.

På baggrund af undersøgelserne beskrevet i det følgende vurderes ruheder i overfladen at have betydende indflydelse på mulighederne for forekomst af vækst

Ligeledes har ruheden en stor indflydelse på arten af vækst der kan forekomme idet de forskellige arter stiller forskellige krav til vedhæftningsmuligheder.

Algebevoksning på tegltag

Et 5 år gammel tegltag er undersøgt, efter at det på et relativt tidligt tidspunkt var konstateret, at en del af tagteglene var misfarvet af algevekst.

Stenene er røde tegltagsten.

Det kunne iagttages, at hovedparten af teglstenene var begroede. De ikke begroede områder var skarpt afgrænsede og svarede til de arealer som kunne dækkes med tagsten fra en eller flere af de leverede partier/paller.

Der kunne ikke konstateres sammenhæng mellem bygningens orientering mod verdenshjørner og forekomst af vækst.

Fra 3 teglsten med forskellig bevoksningsgrad blev der fremstillet i alt 9 tyndslib, et i bund og et fra en vinge på hver sten.

Mikroanalysen viste følgende: Prøverne er ens sammensat. Magringskornene er overvejende kvarts. Der er enkelte store magringskorn og sorte partikler. Omkring disse ses vedhæftningsrevner. Der er få luftporer <1mm. Porøsiteten er homogen og ret ens i de 9 tyndslib. I alle prøver ses enkelte overfladeparallelle revner, 2-7 mm, i midten af teglstenene. Der er ingen sammenhæng mellem forekomst af revner og algebevoksning.

Overfladerne adskiller sig fra hinanden på mikroniveau. Overfladen uden begroning er meget jævn, men overfladen med begroning er mere ru. Algevekst ses især i bunden af disse ujævnheder.

Øvrige tyndslibundersøgelser

Tabel 8.11: Tegl

Prøvemærke	13.1	13.1	11.1	11.1	30 SIII (-1) uden skader	30 S III med skader
Placering af slib	Top	Bund	Top	Bund	Bund	Bund
Vækst	Slib lagt igennem Lav Physcia caesia som er den dominerende vækst på stenen Slib på vinge i område uden vækst		Grønalger Slib på vinge i område uden vækst.		Dominerende vækst er lav: Caloplaca Holocarpa. Slib lagt igennem denne. Slib 1 lagt i område generelt uden vækst	
Overfladeruhed	Glat	Generel glat	Glat	Generel glat	Glat	Generel glat

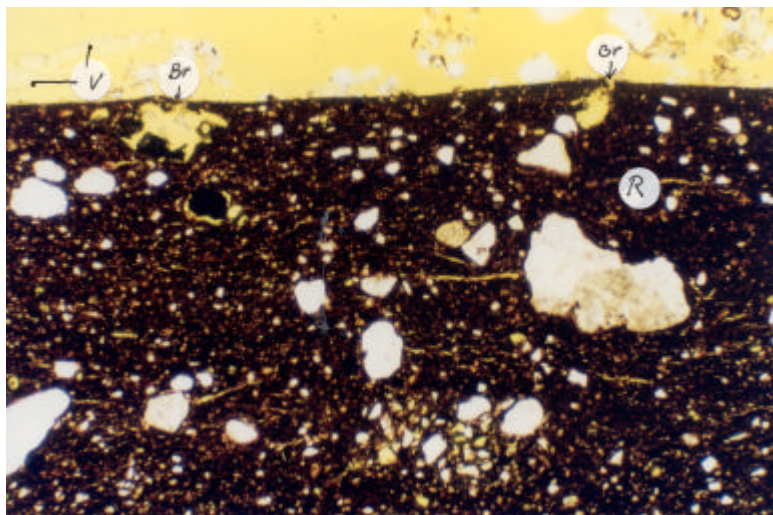
Overfladens beskaffenhed synes at have indflydelse på væksten. Overfladen i de undersøgte tyndslib er generelt mere glat i områder uden væsentlig vækst.

Tabel 8.12: Beton

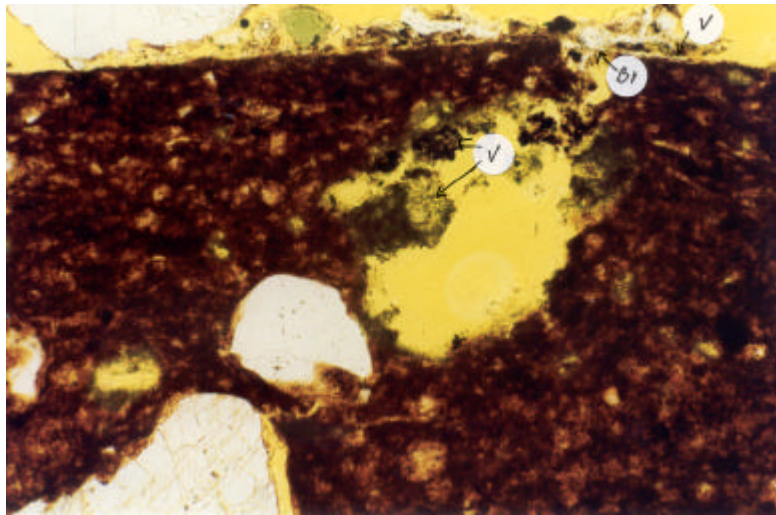
Prøvemærke	2.2	2.2	240-1	240-1	240-2	240-2
Placering af slib	Vinge (top)	Bund	Top	Bund	Top	Bund
Sammensætning Tilslag:	52,7%	52,5%	50,8%	50,2%	49,1%	49,7%
Cementpasta:	40,4%	39,0%	36,4%	41,4%	44,8%	44,2%
Revner ja/nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Karbonatiseringsdybde i mm - Underside - Overside	0,5-1,0 1,0-1,5	0,5-1,5 0,5-1,0	Hele tykkelsen	Hele tykkelsen	Hele tykkelsen	Hele tykkelsen
Porøsitet - v/c - luft	0,5 6,9%	0,5 8,5%	k.i.b.* 12,8%	k.i.b.* 8,4%	k.i.b.* 6,1%	k.i.b.* 6,1%
Overfladebehandling Intakt maling Sur påvirkning	Ja Ja	Nej	Nej Let/normalt	Nej Let	Ja Spor	Ja Ca. 50%
Vækst	Slib i bund lagt igennem lav: <i>Xanthoria parietina</i> , epilithisk Slib på vinge tyder på endolithisk art. Kan ikke fastslås hvilken. Vækst på vinge kun beskeden.		Slib i bund lagt igennem vækst bestående mest af mos. Slib på vinge lagt i område med ringe vækst.		Slib lagt igennem <i>Caloplaca saxicola</i> . Slibet tyder på, at denne lav er endolithisk. Slib på vinge lagt i område med ringe vækst.	

* k.i.b.: kan ikke bestemmes.

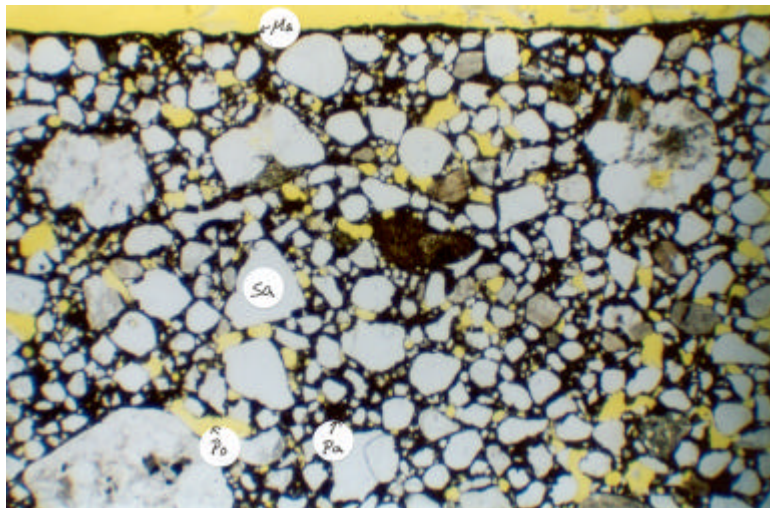
Også for beton vurderes overfladeruheden at have indflydelse på forekomst af vækst, selvom det ikke fremgår helt så entydigt ud fra ovenstående resultater som for tegl. Observationer fra besigtigelser bakker dog teorien op.



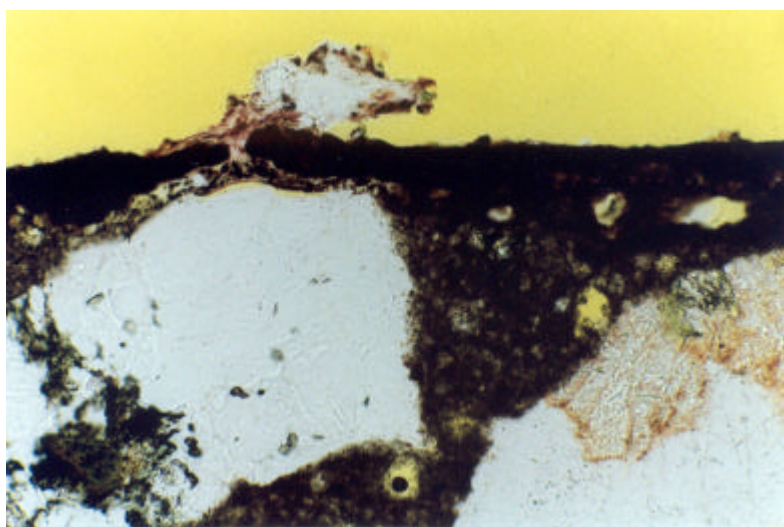
Figur 8.25: Mikrofoto af teglsten, nærbillede af overflade med biologisk vækst (V). Væksten ligger hovedsageligt ovenpå en glat overflade. 2 steder ses gennembrydning (Br) af overfladen og vækst i underliggende pore. Billedfelt ca. 1.5 mm x 1.0 mm.



Figur 8.26: Mikrofoto af teglsten, nærbiliede af området med gennembrudt overflade (Br). Der ses biologisk vækst (V) på overfladen og i pore umiddelbart under denne. Billedfelt ca. 0.6 x 0.4 mm.



Figur 8.27: Mikrofoto af betontagsten, nærbiliede af overfladen. Der ses sand (Sa), cementpasta (Pa) og luftporer (Po). Desuden ses biologisk vækst på den malede overflade (Ma). Billedfelt ca. 10 mm x 7 mm.



Figur 8.28: Mikrofoto af betontagsten, nærbiliede af område med gennembrydning af maling og nedtrængning af biologisk vækst langs tilslag. Billedfelt ca. 0.6 mm x 0.4 mm.

8.9.1 Litteraturens oplysninger om betydning af overfladeruhed

Også ifølge [1] har overfladens ruhed en betydning for muligheden for algevækst. Der henvises til en artikel af Young og Urquhart (1996) hvori den specifikke effekt af ruheden er undersøgt, men dog ikke kunne bekræftes.

I artiklen af Zanger [23] gives der udtryk for, at ruhed har en betydning for forekomst af biologisk vækst. Glattere overflader kan forsinke vækst, men ikke nødvendigvis sikre, at det aldrig kommer.

I modsætning til disse undersøgelser mener [20] at materialernes overfladeruhed er af underordnet betydning for forekomst af biologisk vækst.

I [19] refereres til en artikel af Brightman (1965) hvori, der konkluderes at vandoptagelse, pH og overfladeruhed har betydning for lavvækst.

8.10 Overfladespændings indflydelse

Regnvandet og materialets overfladespænding kan evt. have indflydelse på fremkomsten af biologisk vækst, idet befugtningen af overfladen afhænger af materialernes overfladespænding. Det at befugte en overflade er ikke ensbetydende med at væsken også trænger ind i materialet.

Overfladespænding er ikke en parameter der er undersøgt nærmere i indeværende projektforløb, men projektgruppen har gjort følgende overvejelser:

Rent vand har en overfladespænding på ca. 73 dyn/cm ved 20°C. Det er denne spænding der holder væsken sammen i dråber og hindrer den i at trænge ind i eller glide af overflader. Vands høje overfladespænding bevirker, at vanddråber kan blive betydelig større end dråber af f.eks. alkohol eller ether. Overfladespændingen i vand falder med stigende temperatur.

Ved 0°C er overfladespændingen 76 dyn/cm, ved 20°C er den 73 dyn/cm og ved 100°C, er den 59 dyn/cm.

Har regnvandet en højere overfladespænding end materialets (overflade) opstår der ingen befugtning af overfladen, idet vandet, afhængig af overfladens hældning, perler af eller bliver stående i små kugler. Dette er eksempelvis tilfældet med vand på en epoxybehandlet overflade (Epoxy har en overfladespænding på 39 dyn/cm).

Hvorvidt overfladespændingen på rent vand er væsentlig forskellig fra regnvand vides ikke. Sur regn vurderes ikke at afvige væsentligt fra rent vand på grund af svovlindholdet. Svovlsyre har en overfladespænding, der ikke afviger væsentligt fra vand (2-3 dyn/cm højere), selv i høje koncentrationer. I lave koncentrationer er ændringen ikke af afgørende betydning.

Det, at der ofte går et stykke tid, før der kan konstateres biologisk vækst på en overflade, kunne måske henføres til en ændring af materialets overfladespænding. Når overfladen er ny og intakt har den måske en overfladespænding der er lige under vandets. Vandet perler dermed af, men efterhånden som overfladen slibes af sandpartikler indeholdt i luft og vand, der påvirker overfladen, øges overfladespændingen. Slibningen kunne også tænkes at føre til at vandet "narres" til at befugte overfladen, selv om materialets overfladespænding egentlig er for lav, idet slibningen bl.a. giver en større virkelig overflade end den projicerede. Det betyder at overfladen besidder mere fri overfladeenergi pr cm^2 , hvilket kan "narre" vandet til at befugte overfladen.

Befugtningen giver måske mulighed for udvikling af en svag/usynlig biofilm/algevækst der efterfølgende hæver overfladespændingen på materialet, således at muligheden for en befugtning af overfladen yderligere øges.

Set ud fra en befugtningssynsvinkel kan et fast/flydende stof befugte andre, som har en højere overfladespænding end det selv. Regnvand vil således være i stand til at befugte materialer som glas, stål, aluminium, beton og tegl, (for beton og tegl afhængig af overflade ruheden), men ikke overflader af f.eks. epoxy, polyurethan, nylon, PVC og Teflon.

Litteratur vedr. overfladespændings betydning for vækst

Botaniker, prof. Wilhelm Barthlott, Universität Bonn har forsket i sammenspillet mellem overfladekemi, mikrostruktur og materialers tilbøjelighed til at tilsmudse og blive begroet med biologisk vækst. Der er indgået et patent vedr. en såkaldt selvrensende "Lotuseffekt" og et samarbejde med industrien er igangsat. Dette har bl.a. resulteret i udviklingen af en mikrosilikoneharpiksfarve og en tegltagsten der efter sigende skulle have en selvrensende effekt. Princippet bygger på, at produkterne pga. en hydrofobiering i kombination med en særlig overflademikrostruktur skulle have en overfladespænding der afviser vandpartikler og at smuds og vækst dermed ikke skulle få mulighed for at fæste. [3];[4]

Princippet og de specifikke produkter er ikke undersøgt i indeværende projekt.

9 Områdeundersøgelse

9.1 Baggrund

Baggrunden for at iværksætte en mindre områdeundersøgelse var et ønske om at muliggøre en sammenligning af forskellige materialer udsat for en ensartet påvirkning fra omgivelserne/eksponering. For projektets øvrige gennemførte besigtigelser gælder det at der er tale om konstruktioner beliggende spredt over landet, nogle nær by andre nær skov og strand, med stor forskel i alder, geografisk orientering mv.

Derfor er der mange variable parametre der kan vanskeliggøre en direkte sammenligning af materialerne.

I indeværende områdeundersøgelse er parametre som alder, geografisk beliggenhed, geografisk orientering stort set fastholdte.

Desværre har det kun været muligt at udtage få materialeprøver fra området og de få der kunne udtages var primært tagsten som ikke har været lagt op på taget. Derfor er undersøgelsens konklusioner primært baseret på observationer gjort på stedet.

9.2 Formål

Formålet med områdeundersøgelsen er at identificere

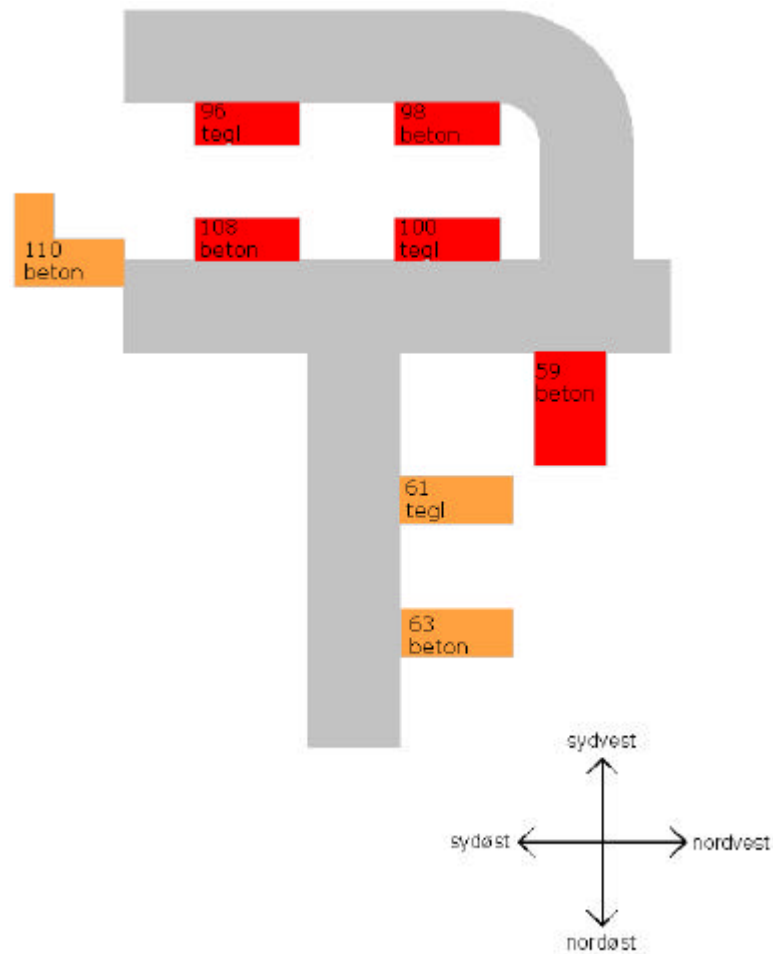
- Forskel på væksttyper på beton og tegl
- Evt. forskelle i placering og udbredelse af vækst på hhv. beton og tegl
- Langtidsvirkning af højtryksrensning

9.3 Beskrivelse

Det udvalgte område er i et lokalt parcelhuskvarter syd for Århus i nærheden af Teknologisk Institut, Murværk.

Undersøgelserne omfattede 7 parcelhuse, hvoraf 4 har betontag og 3 har tegltag. Samtlige huses ydermur er blankt teglstensmurværk.

Husene er placeret geografisk i forhold til hinanden som angivet på nedenstående figur 9.1:



Figur 9.1

Husene er opført indenfor en kort årrække, således at husene er fra 16-20 år gamle.

9.4 Registreringer

Skemaer over registreringer fra områdeundersøgelser findes i bilag 1. Registreringerne er udført delvis af Teknologisk Institut, delvis af husejerne. Kun fra 1 tag har det været muligt at udtage en tagstensprøve. Dennes vækst er identificeret i lab. De øvrige tages vækst er identificeret ud fra skrab af vækst, sammenligning med udtagne prøve og brug af farvekataloget.

9.5 Observationer

9.5.1 Betontage/tegltag

Der ses generelt væsentligt mere vækst på betontagene. Særligt er der mere lavvækst, hvor især den orange lav *Xanthoria parietina* er iøjnefaldende på betontagene.

På betontagene er det lav og mosvækst der dominerer. Tegltagene i det undersøgte område er generelt ikke kraftigt bevokset. I projektforløbet er der andre steder set tegltage med væsentlige mere vækst.



Figur 9.2: Betontagsten bevokset med forskellige arter af lav



Figur 9.3: Brun betontasten med lavvækst på overfladesiden og mospuder på endefladerne



Figur 9.4: Rødt tegl tag med enkelte mospuder der hæfter i overlap mellem tagsten og svag algevækst

På tegltagene ses primært en tynd algefilm, lidt mos i overlap og enkelte steder spredte lavpuder som vurderes at være *Physcia caesia* (sølvgrå lav).



Figur 9.5: Rødt tegl tag med enkelte plamager med lavvækst.

9.5.2 Murværk

Samtlige huse har et tagudhæng, og generelt er der ikke væsentlig vækst på det lodrette murværk. Enkelte steder er der lidt mosvækst i fuger. Typisk på områder hvor der har været lavere buskbevoksning nær op af muren. Flere steder ses der lav og algevækst på sølbænke. Men generelt synes tagudhængen at forebygge væsentlig vækst på murværket.



Figur 9.6: Typisk tagudhæng for de besøgtede huse



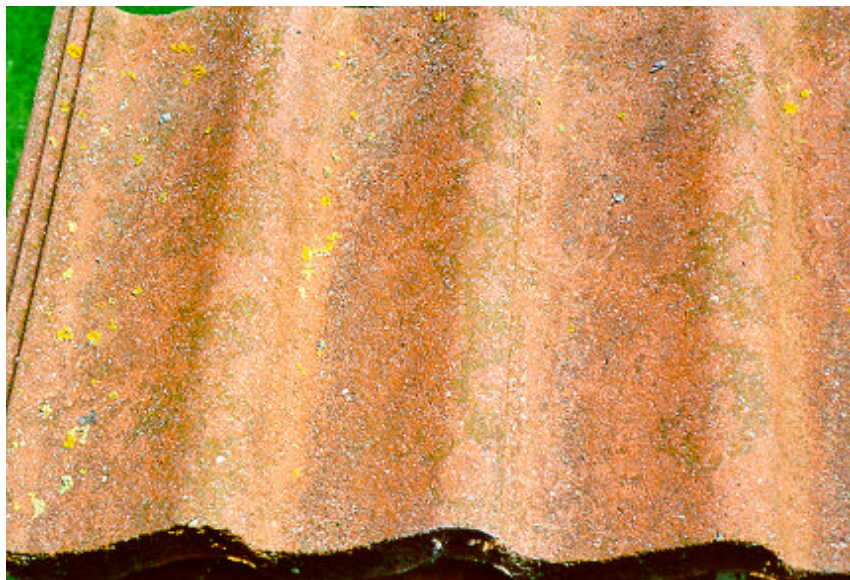
Figur 9.7: Mosvækst i fuger



Figur 9.8 Biologisk vækst på sålbænke

9.5.3 Lavvækst

For laverne ses der ingen tendens til at skyggefulde tagflader foretrakkes. Tværtimod er de orange laver ofte meget dominerende på rygningsten. Der ses en tendens til mest lavvækst der hvor høje træer afleverer blade, blomster mv. til tagene.



Figur 9.9: Betontagsten med biologisk vækst



Figur 9.10: Vækst på rygningsten, betontag

9.5.4 Mos

For mos gælder det, at der enkelte steder er konstateret vedhæftning i selve beton-overfladen, hvor det for teglstenene gælder at der kun er vedhæftning i overlap mellem sten og på endeflader, hvor der er større ruhed.

Mosvækst ses mest kraftigt på nord/vest tagflader men ses også på sydøst-sider, da dog mest på endeflade og ved overlap af sten hvor stenene giver skygge og hvor der er særligt gode muligheder for vedhæftning pga. øget ruhed i overfladen.

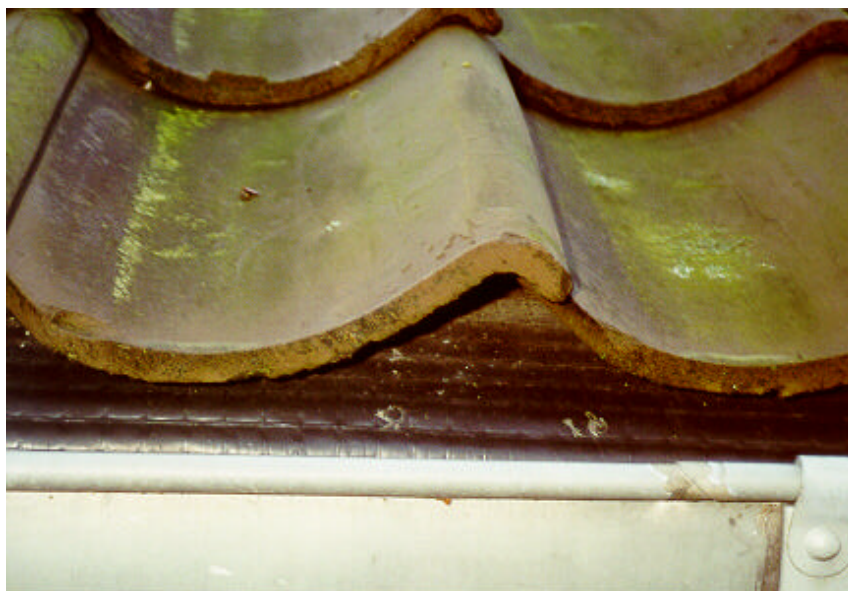
Hvis man forsigtigt fjerner større mospuder ses at der er fugtigt bag mosset, i hvert fald i det yderste lag af stenen. Hvis man på tilsvarende vis forsigtigt fjerner en større plamag lav ses ingen synlige tegn på fugtophobning.



Figur 9.11: Betontag med kraftig vækst

9.5.5 Alger

Algevækst er kun konstateret som den dominerende væksttype på det manganholdige tegltag. Her gælder det, at algerne foretrækker den nordøst-vendte tagflade. Der er også mindre algevækst på nr. 100's røde tegltag, men væksten fremstår nærmest som en let tilsmudsning/patineret af stenene og er ikke det dominerende synsindtryk.



Figur 9.12: Algevækst på brunt tegl tag

9.5.6 Betydning af tidligere afrensning

2 af tagfladerne er tidligere rensset med højtryksrensere. Husejerne oplyste, at tagene havde været relativt rene i ca. 3 år. Tagfladerne er atter relativt kraftigt bevokset. Dog er de enkelte lavpuders omkreds ikke så store, hvilket nok blot viser at laverne ikke er så gamle som på de uafrensede tage. På rygningstensene ses dog større puder af især den orange lav *Xanthoria parietina*. Der er mange mindre laver. Dette kan indikere, at afrensning evt. kan medføre spredning af lavernes spredningsenheder og ved øget ruhed i overfladen på stenene give basis for øget ny vækst.

10 Konstruktionsforholds betydning for vækst

10.1 Indledning

Andre faktorer end selve materialeparametrene vil også kunne påvirke floraen. Frost, forurening, lys, temperatur mv. er også vigtige. Nogle af disse parametre vil kunne påvirkes ved valg af forskellige konstruktionstyper.

Materialets orientering mod verdenshjørnerne, hældning, materialets farve, termiske egenskaber, varmeoptagelse, mm. vil alt sammen påvirke lys og temperaturforhold og dermed have en mulig effekt på floraen.

I forbindelse med de udførte besigtigelser af konstruktioner med vækst er oplysninger vedrørende geografisk orientering, taghældning, materialefarve, mv. derfor registreret.

I de følgende afsnit er disse parametres betydning vurderet.

10.2 Geografisk placering og orientering

Geografisk placering af konstruktionen kan have en betydning for forekomst af vækst. Påvirkninger fra vinderosion, aflejringer af industristøv, luftens indhold af skadesstoffer og næringsstoffer mv. afhænger af konstruktionens omgivelser (nærliggende landbrug, industri mv.) [22].

Overfladeruheden vil ændres med tiden særligt for cement og kalkholdige materialer bl.a. pga. påvirkning fra sur regn.

I projektet er der udført enkelte orienterende målinger af pH i regnvand. Der er lavet 3 opsamlinger i Østjylland:

1. Parcelhusområde i Gedved, pH målt til 7,0
2. Parcelhusområde i Viby (Århus-forstad), pH målt til 7,4
3. Beboelse nær stærkt trafikeret motorvej, pH målt til 6,6

Det har dog ikke været muligt ud fra projektets registreringer af drage nogen entydige konklusioner vedr. geografisk placering af konstruktion.

Geografisk orientering af konstruktionen er afgørende for hvor meget lys og varme konstruktionen udsættes for i løbet af døgnet (under forudsætning af at der ikke er skyggegivende bygninger eller træer som slører denne effekt).

På baggrund af projektets registreringer synes alger at foretrække skyggefulde nord eller østvendte facader men kan også sagtens optræde på syd og vestvendte facader.

Laver er mere hårdføre overfor opvarmning og sollys, og nogle arter synes at trives bedst på sydvendte facader. Laver ses ofte at være meget dominerende på rygningsten, som er en udsat position mht. blæst, regn, sol mv.

10.3 Tagudhæng

På baggrund af registreringerne fra besigtigelser er der ingen tvivl om at et tagudhæng der reducerer vandpåvirkningen på murværket mindsker mulighederne for vækst.

10.4 Taghældning

Det har i projektføreløbet ikke været muligt til fulde at afklare betydningen af taghældning. Der er set vækst både på tage med meget stejl og meget lille taghældning. Alligevel vurderes taghældningen at have betydning for væksten. En række observationer indikerer at tilgangen af næring fra omgivelserne kan have afgørende betydning for hvor meget og hvilken vækst der kommer på materialerne. Alt andet lige vil en mindre taghældning give større chance for at aflejret biologisk materiale bliver liggende og ikke vaskes af. Derudover vurderes det generelt at større taghældning giver mindre ligevægtsfugtindhold i stenene.

10.5 Undertag/tagventilation

10.5.1 Ventilationsforhold

Ventilationsforholdene i tagkonstruktionen har afgørende betydning for om der dannes kondensation. Tidligere blev tegltage ofte understrøget eller overstrøget. Oplægning af tegltage sker i dag normalt på et tæt undertag. En undtagelse er K21 falstagsten, der kan oplægges med skumnylonstrimler i falsene uden undertag og understrygning.

Betontage oplægges også ofte med undertag men der eksisterer også betontagsten med en systemfuge der muliggør oplægning uden undertag eller understrygning.

For betontagsten er ventilationen ikke afgørende for stenenes holdbarhed, da stenene er frostsikre uden denne ventilation.

Der er ikke ved Teknologisk Instituts konsultationer konstateret en sammenhæng mellem kondensation på undersiden af betontagsten og omfang af begroning på oversiden.

Når der bruges afstandslister på betontage er det ofte for at undgå at der opsamles skidt og snavs mellem undertaget og stenene, som ved ophobning kan medføre misfarvning af sten. Skidt og snavs kan også give anledning til lokal opfugtning med risiko for begroning.

Projektets registreringer viser at der er konstateret kraftig vækst på tage både med og uden undertage. Ventilationsforholdene i loftsrum er ikke nærmere undersøgt. Dog er der i forbindelse med områdeundersøgelsen blevet spurgt, om der har været problemer med fugt i tagkonstruktionen. Alle besvarelserne herpå var negative.

Kilde [23] oplyser, at dårlig ventilation af tagkonstruktioner skulle spille en væsentlig rolle for øget vækst på tagmaterialer. Dette har vore undersøgelser hverken kunne be- eller afkræfte. I en række henvendelser til Teknologisk Institut, hvor der er tale om hurtig dannelse af grønalger, oplyses det, at tagene er meget fugtige. Ofte tolkes dette som et bevis på at væksten holder på fugten. Indeværende projekts undersøgelser af fordampningshastighed har dog vist, at dette ikke er tilfældet. Derfor synes påstanden om dårlig beluftning af tagkonstruktionen umiddelbart at være meget rimelig og bør i fremtidige projekter undersøges nærmere ved deciderede fugtmålinger.

For tegltage med falstagsten af typen K21 med nylonskumstrimler mellem tagstenene og intet undertag er det hyppigt konstateret, at mos vokser godt. Mossens vedhæftning sker til skumplaststrimlerne som tilsyneladende giver særlige gode muligheder for vedhæftning. Måske giver strimlernes vandindhold også særlige fordelagtige forhold for mosset. Et eksempel på et tag af denne type med kraftig vækst er givet i følgende billede.



Figur 10.1: Tegl tag K21 tagsten - med mosvækst i overlap

Mos kan på tilsvarende vis hæfte til evt. understrygnings- eller overstrygningsmørtel.

10.6 Fugtspærring/opsprøjt

Øget fugt i den nederste del af murværket er ofte set give anledning til øget vækst på denne del af murværket. Opstigende grundfugt fører ofte salte med op i konstruktionen. Dvs. udover øget fugt resulterer den manglende fugtspærring også ofte i et øget indhold af næringsstoffer. Sprøjt på de nederste dele af konstruktionen kan give samme effekt. Et par eksempler herpå er givet i følgende fotos:



Figur 10.2: Øget algevækst på kal ket kirke forårsaget af opstigende grundfugt.



Figur 10.3: Øget algevækst nederst på en fritstående teglstensmur sandsynligvis forårsaget af en kombination af opstigende grundfugt og opsprøjt.

10.7 Defekter

Defekte nedløbsrør eller udhæng er ofte årsag til lokal øget fugtpåvirkning med øget vækst som resultat. Som eksempel ses på følgende foto kraftig algevækst i et område:

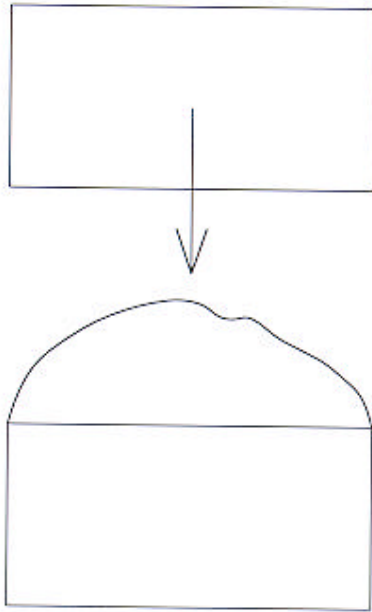


Figur 10.4: Vækst forårsaget af utæt løskant

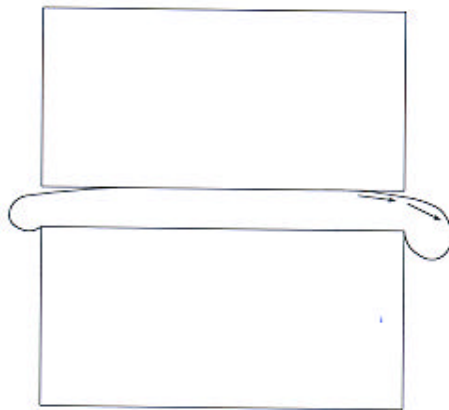
10.8 Fugeudformning

Ofte ses den biologiske vækst i fugerne at starte i revner mellem sten og mørtel. Revner giver tilsyneladende mulighed for bedre vedhæftning og det kan heller ikke udelukkes, at der ofte kan stå en lille vandhinde i en sådan revne som kan give særlige fordelagtige livsbetingelser for væksten.

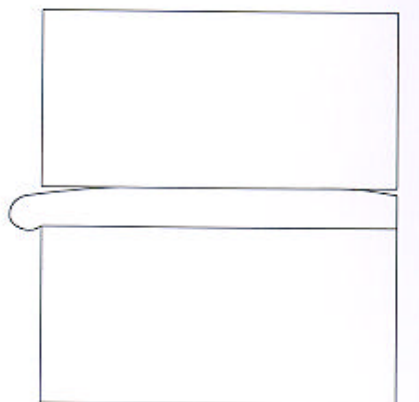
Sådanne revner i liggefugens overkant opstår naturligt i forbindelse med murerarbejdet, idet mørtlen under lægning af murstenen presses nedad og udad i samme bevægelse. Normalt udbedres disse revner under færdiggørelsen, dvs. udkradsning og efterfugning eller trykning af fugerne. I de senere år har trykning af fugerne været mest anvendt og revnerne kan også udmærket lukkes på denne måde, hvis trykningen sker, mens mørtlen endnu er plastisk. Sker dette ikke, bliver fugerne revet op under trykningen, og revnerne efterlades åbne.



Figur 10.5: Mørtel på nederste sten, øverste sten ikke anbragt endnu



Figur 10.6: Ved lægning af mursten presses mørtlen udad



Figur 10.7: Overskydende mørtel er fjernet i forsiden. Revne mellem øverste sten og mørtel skal udbedres ved udkradning og efterfugning eller ved trykning af fugerne.

Det vurderes således sandsynligt, at sådanne revner mellem fuger og sten kan give anledning til, at der kommer vækst hurtigere og måske kraftigere end der ville være kommet, hvis revnerne havde været udbedret korrekt.

Væksten vil typisk brede sig fra disse revner ud over hele mørtelfugens overflade.

10.9 Mørtelkvalitet

Mørtel skal leve op til en række kvalitetskrav:

- Den skal have den nødvendige styrke af hensyn til konstruktionens statiske krav mv.
- Den skal kunne modstå vejrliget inkl. frost i det aktuelle miljø (aggressivt, moderat, passivt).
- Den skal have det ønskede udseende (farve, struktur, fugeudformning).

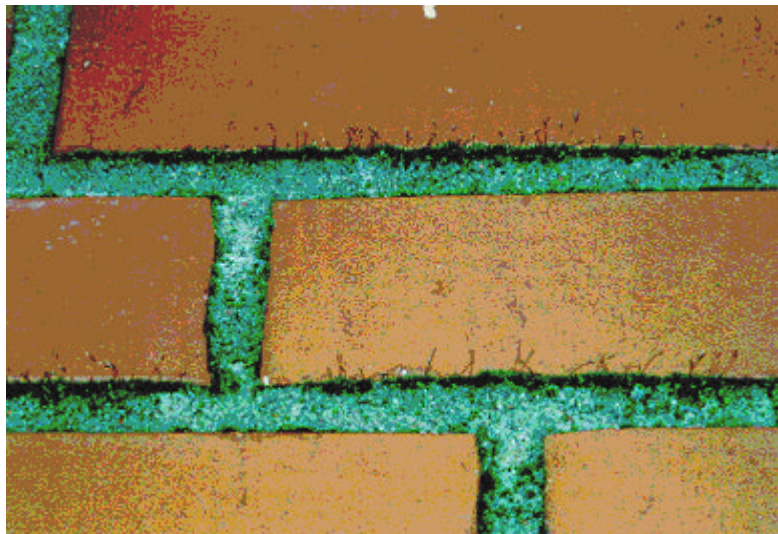
Dette sikres ved valg af blandingsforhold (bindemiddelindhold i forhold til tilslag) kornstørrelsesfordeling af tilslag, råmaterialernes farver mv.

Mørtlens egenskaber vil endvidere blive påvirket af en evt. afsyring, der bl.a. kan fjerne bindemiddel og give øget saltindhold.

Der er i projektperioden registreret vækst i fuger hvor mørtlen er vurderet for svag pga.

- kraftig afsyring
- meget finkornet tilslag.

Derudover er det kendt, at fugen kan tage skade hvis den udsættes for frost, mens mørtlen endnu er uhærdet og indeholder en høj vandmængde. Afskalninger pga. frost vil give øget ruhed i fugen og bedre muligheder for vedhæftning af vækst.



Figur 10.8: Rødt teglstensmurværk med mosvækst i fugerne.

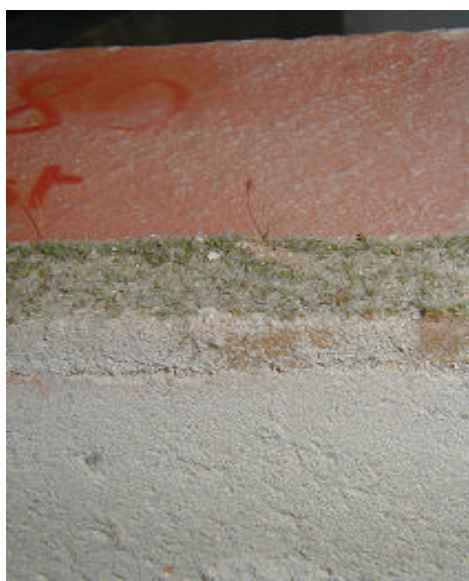
Vækst af lav og mos udgår ofte fra mørtelfugerne, hvorfra de breder sig ud over murstenene. Et enkelt eksempel herpå er givet i følgende foto:



Figur 10.9: Gult teglstensmurværk med lavvækst i fuger der spreder sig ud over murstenene.

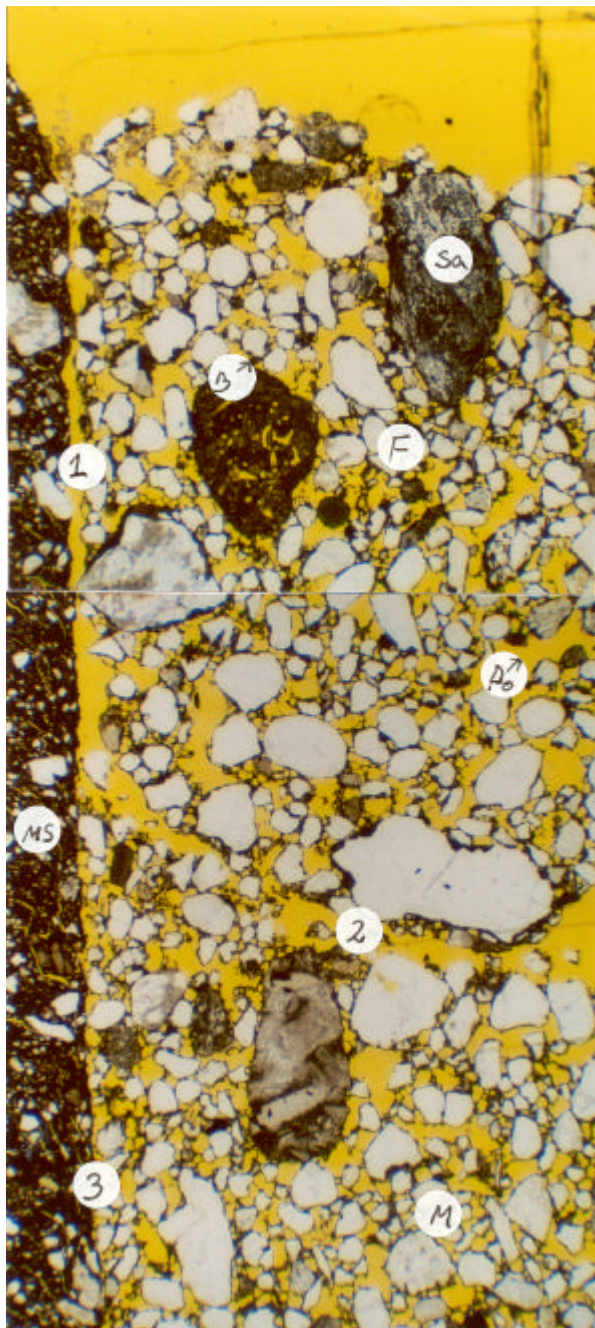
10.10 Mikroanalyse af tyndslib af mursten og fuger

En mursten med mørtel med liggefuge, hvor der ses mos i fugen er undersøgt vha. mikroanalyse.



Figur 10.10: Udsnit af rød teglmursten med mosvækst over hele fugen. Nederst på billedet ses undersiden af teglstenen med muremørtel.

Der ses generelt god vedhæftning mellem opmuringsmørtel og sten, men dårlig vedhæftning mellem fuger og sten og mellem fuger og opmuringsmørtel. Fugen er i det væsentlige sammensat som opmuringsmørtlen. Overfladen af fugen er ru med fritlagte tilslagskorn. Der ses biologisk vækst mellem sandkornene i de øverste 4 mm fra den eksisterende overflade. Den eksisterende overflade befinder sig 1,5 mm under stenens overflade. Der ses generelt ikke biologisk vækst i bruddet mellem sten og fuger.



Figur 10.11: Mikrofoto af tyndslib af mursten, oversigtsbillede. Der ses mursten (MS), opmuringsmørtel (M) og fuger (F). Der er dårlig vedhæftning mellem sten og fuger (1) og mellem fuger og opmuringsmørtel (2) og god vedhæftning mellem sten og opmuringsmørtel (3). I fugen ses sand (Sa), bindemiddel (B) og luftporer (Po). Fugen har fritlagte sandkorn i overfladen. Billedfelt ca. 15 mm x 7 mm.

Resultatet af undersøgelsen bekræfter påstandene fra afsnit 10.8 og 10.9 vedr. fugudformningens og mørtelkvalitetens betydning.

11 Skadestyper

11.1 Indledning

Der er forskellige typer af mulige skader der drøftes i branchen og/eller i større eller mindre grad er beskrevet i litteraturen:

1. Forvitring/dekomponering/opløsning af specifikke forbindelser i byggekomponenterne forårsaget af udskillelse af organiske syrer, enzymer mv.
2. Mekaniske påvirkninger.
3. Indvirkning på varme- og fugtoptagelse og afgivelse, hermed ændring af fysisk kemiske processer. I tagbranchen drøftes ofte, om bevoksninger holder på fugten og dermed kan give øget risiko for frostsprængninger
4. Dårligere vedhæftning ved efterfølgende overfladebehandlinger, f.eks. med afskalning af kalklag eller maling til følge pga. vækstlag
5. Ændret æstetisk indtryk i form af lokale farveændringer/misfarvninger, betragtes af mange som en skade.

I litteraturen omtales begreber som

- afskalninger
- revnedannelser
- peeling
- crumbling
- disjointing

som eksempler på skader forårsaget af bionedbrydning.

11.2 Dekomponering af materialerne pga. væksters udskillelse af syrer mv.

11.2.1 Projektresultater

I forbindelse med indeværende projekts tyndslibsundersøgelser af tegl og betonprøver har det ikke været muligt at konstatere skader på materialerne der synes at stamme fra udskilning af syrer mv. fra biologisk vækst.

I forbindelse med tyndslibsundersøgelserne er der også set lidt på hvor langt ind i selve materialet den biologiske vækst er konstateret. Der er kun set op til ca. 0,5 mm's indtrængning af vækst. Som beskrevet tidligere skelnes der mellem epilithiske og endolithiske laver, hvor de endolithiske laver kan vokse ind i selve stenmaterialet. Udbredelsen af de endolithiske laver på de sten, der har været udvalgt til tyndslibsundersøgelserne, har dog været så beskedne, at kun på 3 slib vurderes slibet at være lagt igennem en endolithisk lav, og der har i intet af tilfældene været tale om en meget kraftig vækst. Ved kraftig vækst af endolithiske laver kan det derfor ikke udelukkes, at vækst kan trænge betydeligt længere ind i materialet. På ingen af de i projektet udtagne prøver er der dog konstateret kraftig vækst af endolithiske laver.

Mikroanalyser af tyndslib

Beton

På overflader med fritlagte sandkorn (erosion af overfladen) ses vækst mellem sandkornene. Der ses sur påvirkning af cementpastaen mellem kornene. Dette er normalt for udendørs betonoverflader udsat for sur regn. Den sure påvirkning medfører at kun ikke-syreopløselige dele af cementpastaen bliver tilbage mellem sandkornene. Zonen af ikke-syreopløselige rester er noget bredere i område med kraftig vækst. Dette kan dog skyldes, at der i område med kraftig vækst ikke sker den erosion af overfladen, der normalt vil fjerne disse rester. Det betyder således ikke at være forårsaget af væksten.

Tegl

Der er ikke i de undersøgte teglsten set tegn på sur påvirkning.

Prøve 30SII er en gul teglsten med delamineringer. I denne sten ses vækst i revnerne. Det vurderes ikke, at revnerne er opstået på grund af den biologiske vækst, men af andre årsager (f.eks. frost), hvorefter væksten er trængt ind i eksisterende revner.

11.2.2 Litteraturoplysninger

Der eksisterer en mængde litteratur vedrørende bionedbrydning. Mange af undersøgelserne omhandler dog sandsten og kalksten som ikke er omfattet af indeværende projekt. Mange af artiklerne handler om de kemiske reaktioner og mulig nedbrydning der kan ske på grund af vækstens udskillelse af forskellige organiske syrer herunder særligt oxalsyre.

I det følgende er der givet en kort gennemgang af udvalgte artikler.

I kilde [19] gennemgås forskellige former for bionedbrydning med reference til en række andre artikler. I artiklen konkluderes, at nogle laver kan forårsage alvorlig nedbrydning ikke kun af murværksfuger men også af teglsten, uden at strukturen først har været udsat for anden form for nedbrydning. Dog er denne proces langsom. Bionedbrydning forårsaget af alger vurderes at være meget overfladisk. Den kemiske påvirkning fra mosser vurderes at være væsentligt mindre end fra laver, men et vist omfang af fysisk nedbrydning på overfladen af materialerne kan ske på grund af mossernes vedhæftning.

I artiklen konkluderes sidst, at alvorlig skade på murværkskonstruktioner ved tilstedeværelse af vækst sjældent er et direkte resultat af væksten, men snarere af andre stoffer/midler, hvor fremkomsten af nogle af disse er blevet begunstiget af denne vegetation, som igen er involveret i skaden enten direkte eller indirekte ved at anspore et andet skadende middel eller påvirkning (frost).

Den kemiske aktivitet af hovedparten af arterne (bortset fra skorpelaver) er svag på murværk og forbliver overfladisk. Den destruktive mekaniske effekt af væksten er meget større, men forbliver også overfladisk.

I følge Lloyd, 1973 [26] kan såvel endolithiske som epilithiske skorpelaver forårsage skade på materialer. Porøse materialer er især påvirkelige af fysisk gennemtrængning af visse laver, men lavvækst kan også virke beskyttende imod den fysiske påvirkning af vind og vejr, [26].

I artiklen "Effects of Lichens on Mineral Surfaces", [26] ironiserer forfatterne (Jones, D., M.J. Wilson & W.J. McHardy) således over et arbejde udført af Brightman & Seaward (1977), hvori de konkluderer, at laver ikke kan forårsage egentlig strukturel ødelæggelse af bygningsmaterialer. De hævder, at der er en god bufferkapacitet i f.eks. mursten, puds, cement og asbestcement. Desuden er det deres opfattelse, at lavvækst i mange tilfælde kan have en æstetisk positiv effekt. Jones, Wilson & Hardy henviser bl.a. til en undersøgelse af Hale (1983), som illustrerer en Maya ruin i Guatemala med stenrelieffer fra perioden 300 f.Kr. til 250 e.Kr., som blev behandlet med et fungicid, der dræbte lavbevoksningen, hvorefter den kraftige erosion forårsaget af laver blev blottet. Deres egne undersøgelser bekræfter, at der er en effekt og betydning af laver på natursten og på bygninger og monumenter af sten. Til gengæld kan der i visse tilfælde spores en positiv, beskyttende effekt af lavbevoksning mod vejrligets nedslidning (Lloyd, 1973 i Jones, Wilson & Hardy). Der er dog ifølge forfatterne næppe tvivl om, at både vejrligets påvirkning og påvirkning fra lavbevoksning i form af sekundære produkter og syreudskillelse fra laver har en effekt over lang tid.

I en undersøgelse gennemført af Petersen, Karin & Joanna Kuroczkin, Alicja B. Strzelczyk & Wolfgang E. Krumbein med titlen "Distribution and effects of fungi on and in Sandstones", [27] er monumenter bygget af sandsten analyseret for bevoksninger af mikroorganismer. Svampekolonier er isoleret og identificeret, så artssammensætning og udbredelse kan vurderes. Der er foretaget undersøgelser i Scanning Electron Mikroskop, og de enkelte svampestammer er analyseret for deres evne til at producere syre på forskellige kulhydratkilder. Deres evne til at oxidere mangan og udskille manganoxid er også undersøgt. Dette mønster som kan indikere transport og udskillelse af jern diskuteres i relation til skorpedannelse og afskalning.

Biologisk nedbrydning induceres, ifølge forfatterne, [27] ved acidolytisk aktivitet og kompleksbinding såvel som ved reduktion og oxidation af mineralske kationer.

Svampene blev isoleret på Czapek-Dox-Agar (Merck, Nr. 5460, Darmstadt, FRG), identifikation af svampene blev udført på Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn, The Netherlands. Svampenes syredannelse blev undersøgt på Czapek-Dox-Agar indeholdende forskellige kulstofkilder: glukose, galactose, fruktose, mannose, maltose, saccharose, stivelse, glycogen og cellulose. Svampene blev inkuberet ved 28°C og undersøgt efter 14 dage for vækst og syreudskillelse. Bromothymol-blåt og bromocresol-grøn blev brugt som pH-indikatorer. Mangan oxidation blev undersøgt iht. Zavarzin (1982) & Bromfield (1956) og bestemt ved Leuco Berbelin blåt (Krumbein & Altmann, 1973), [27].

Undersøgelserne viste, at svampe fra slægterne *Cladosporium*, *Penicillium* og *Trichoderma* er de svampe, der oftest giver anledning til bionedbrydning på sandsten enten foranlediget af syreudskillelse eller ved kompleksbinding. Svampeslægten *Phoma* er også syreudskillende. Godt 50% af de isolerede svampeslægter i denne undersøgelse sænkede pH på mindst en kulstofkilde. Kulstofkilden kan være fra mikrobielle nedbrydningsprodukter, slim eller andre extracellulære polysaccharider (f.eks. glukose, galactose, fructose, mannose, maltose, saccharose), fra oplagsstoffer (f.eks. stivelse og glucogen) eller fra algers cellevægge, som består af cellulose. Fra Krumbein & Petersen, 1987.

Hos 21 af 61 arter blev Mn^{2+} omdannet til Mn^{4+} . Mangan og jern biotransport kan være involveret i bionedbrydning og afskalning (exfoliation).

Ifølge kilde [1] gælder det generelt, at misfarvning indtræffer længe før forvitring. Denne påstand underbygges af at der i litteraturen ved angivelse af eksempler på bionedbrydning oftest er tale om historiske monumenter der er blevet undersøgt.

11.3 Mekaniske løft, mv.

Ved kraftige mospudedannelser på tage i overlap mellem sten kan det ikke udelukkes at mosset evt. kan bevirke indtrængning af vand ved opstemning af vand eller evt. løft af stenene. Dette gælder både for tegl- og betontage.

Hvis væksten bliver så kraftig at den forårsager en mekanisk tilstopning af vandafløb fra tage kan man forestille sig at dette kan bidrage til øget vækst og evt. til skader. Der er ikke i projektførløbet set eksempler herpå.

11.4 Fugtoptagelse og afgivelse

Som beskrevet under afsnit 8.7 "Fordampningshastighed" er der i det indeværende projekts udførte fordampningsmålinger registreret hurtigere vandfordampning fra prøver med relativ kraftig vækst end fra prøver med svag vækst. Dette er i modstrid med den gængse opfattelse af at væksten holder på fugten og dermed skulle kunne give anledning til øget risiko for frostsprængninger.

Det skal i den forbindelse pointeres, at de udførte sammenlignende målinger kun er gennemført for begroninger med alger og lav. Der kan således ikke konkluderes noget vedr. mossers evne til at fastholde fugten i konstruktionen.

På baggrund af de udførte målinger vurderes der ikke at være belæg for at påstå at alge- eller lavvækst øger risikoen for frostsprængninger.

11.5 Vedhæftning

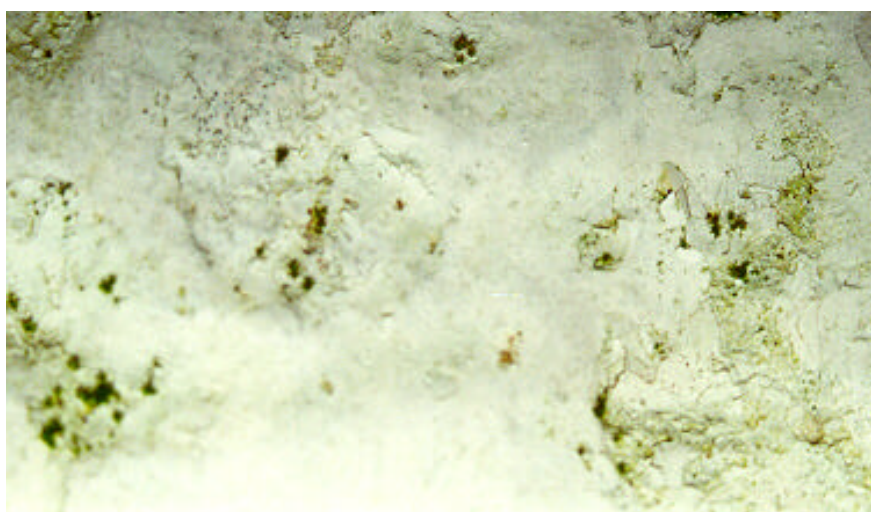
Der er i projektførløbet set flere eksempler på afskalning af kalklag hvor der under afskalningerne har kunnet konstateres lag af grønalger der vurderes at være medvirkende årsag.

I følgende figur 11.1 ses et billede fra et pudset og kalket murværk med afskalninger. Der ses algevækst under afskallende kalklag. De større afskalninger af pudslag vurderes ikke at være forårsaget af væksten, men i det aktuelle tilfælde snarere frost i forbindelse med et højt vandindhold samt krystaltryk fra vandopløselige salte, der under vands fordampning er blevet udfældet i murværkets overflade.



Figur 11.1: Pudset , kalket murværk med afskalninger

Figur 11.2 viser en kirkes udvendige kalkede murværk, hvor der på alle facader i større eller mindre omfang var sket afskalninger fra kalklaget. Ved at skrabe kalk fra overfladerne blev det konstateret, at der i stort omfang voksede alger under de yderste kalklag og nogle steder voksede der også mos. I forbindelse med undersøgelserne blev der konstateret tegn på tidligere lag der har indeholdt maling. Denne kan medvirke til dårlig vedhæftning. Algelagene er dog i det aktuelle tilfælde også vurderet at være en medvirkende årsag til afskalningerne.



Figur 11.2: Kalket murværk med algevækst bag yderste kalklag.

11.6 Misfarvninger/Ændret æstetisk udseende

Generelt

Om vækst opfattes som en misfarvning eller en uønsket ændring af konstruktionens æstetiske udseende er en meget subjektiv vurdering.

Teglværker har oplevet, at kunder generelt klager, hvis røde tegltagsten i løbet af mindre end ca. 3 år bliver kraftigt begroet med grønlag.

Alger eller svampevækst på malede facader bliver også af de fleste opfattet som uønskede misfarvninger som ønskes undgået eller fjernet.

Projektresultater

Indeværende projekt har kun i mindre omfang omhandlet svampe. En række skimmelsvampe er dog kendt for at kunne forårsage misfarvning på facader, især på pudsede overflader med eller uden maling. At skimmelsvampene er talrige og til stede blev dog bekræftet ved et forsøg udført i fase 3, hvor vi anvendte en metode, som bruges til undersøgelse af skimmelsvampe indendørs i bygninger til at undersøge bevoksninger af laver på sålbænke før og efter afrensning. Her fik vi ikke overraskende et meget stort antal skimmelsvampe, men vi kan ikke sige, at det var disse skimmelsvampe, der gav et visuelt indtryk af en kraftig bevoksning. Det var så udpræget lavvæksten. På enkelte prøver af puds med og uden maling og på en kalksandsten som var tydelig misfarvet har vi konstateret vækst af *Cladosporium* og *Alternaria*.

På baggrund af mikroanalyse af tyndslib af malede betontagsten kan det ikke udelukkes, at vækst i nogle tilfælde kan medvirke til nedbrydning af malingslag der hvor underliggende porøsitet giver svagheder i malingen. Det formodes dog, at denne nedbrydning er meget langsom og sjældent vil være den udslagsgivende årsag til afrensning og nymaling.

Teknologisk Institut, Murværk har for en årrække siden udført en orienterende undersøgelse af 6 grønglaserede teglsten. Undersøgelsen blev gennemført med henblik på at vurdere årsagen til at tagstenene med tiden havde ændret udseende. Glasurens oprindelige grønne farve var i visse områder blevet mere brun. Tagstenen var dækket af biologisk vækst. Et orienterende laboratorieforsøg viste, at oxalsyre kunne reagere med glasuren og danne lignende misfarvninger. Den biologiske væksts udskillelse af oxalsyre blev mistænkt for at være medvirkende til dannelse af misfarvningerne. Konklusionerne blev dog opstillet på grundlag af relativt simple undersøgelser. En eftervisning vil kræve mere dybdegående undersøgelser af væksttype, glasursammensætning og reaktionslagenes sammensætning.

12 Rensemidler/metoder

12.1 Indledning

I kortlægningsrapporten er de midler og metoder, der i dag i praksis anvendes til afrensning af biologisk vækst, beskrevet. Indeværende afsnit beskriver de rensmidler/metoder der i indeværende projektfase er undersøgt nærmere eller som projektfasens arbejde har givet mulighed for at uddybe yderligere i forhold til delrapport 1.

12.2 Forsøg med hedvandsrensning

Der er i projektets 3. fase gennemført forsøg med afrensning af vækst ved hedvandsrensning. Forsøgene og resultaterne er detaljeret beskrevet i delrapport 3: "Testmetoder".

Der er udført forsøg på hhv. algebevoksede cementbaserede plader samt på algebevoksede tegltagsten. Der er udført forsøg ved følgende kombinationer af tryk og temperatur

- 95°C, 110 bar
- 95°C, 70 bar
- 65°C, 110 bar
- 65°C, 70 bar

På teglstenene blev der udført forsøg med kombination af kemisk middel og hedvandsrensning.

Forsøgene viste at metoden kunne fjerne den synlige vækst men at der skete synlig skade på materialernes overflade. Disse skader øger mulighederne for ny vækst og allerede ca. 6 måneder efter afrensning kunne der atter konstateres synlig ny vækst.

Detaljerede resultater af forsøgene afrapporteres i delrapport 3: "Udvikling og afprøvning af testmetoder".

12.3 Anden mekanisk afrensning

I forbindelse med mosvækst på tegltage kan "håndplukning" eller børstning med børster der ikke ridser overfladen være en miljøvenlig afrensning. Som beskrevet sidder mospuderne relativt dårligt fast til tegl og har generelt kun hæfte, hvor teglstenene overlapper. Mosset vil ofte have bedre vedhæftning til betonoverflader, og metoden kan derfor ikke nødvendigvis anvendes her.

12.4 Kemiske midler

I forbindelse med kortlægningsrapporten blev det konstateret, at der pt. kun er 1 relevant godkendt algebekæmpelsesmiddel på markedet. Aktivstoffet i dette middel er fedtsyre C8-C18, hovedfraktion decansyre.

I følge leverandørens brugsanvisning sprøjtes produktet direkte på algerne. Døde alger kan efter få dage fjernes ved at scrubbe med en børste eller kost, men dette er dog ofte ikke nødvendigt, da regnen vil skylle dem væk.

I projektets fase 3: "Udvikling og afprøvning af testmetoder" afprøves testmetoden bl.a. på dette middel.

Resultater af disse forsøg afrapporteres delrapport 3: "Udvikling og afprøvning af testmetoder".

Produktet er ligeledes anvendt i forbindelse med ovennævnte forsøg med hedvandsrensning af røde algebevoksede tegltagsten.

12.5 Damprensning/Microclean afrensning

Der er udviklet en metode til reovering af skimmelsvamp med såkaldt tør-damp. Metoden baserer sig på denaturering og afrensning af skimmelsvampvækst ved hjælp af damp under tryk som påføres den angrebne overflade.

Metoden er patenteret under navnet micro clean[®]-metoden. Metoden kan derfor kun anvendes gennem firmaet Micro Clean A/S og dets licenstagere.

Micro clean-metoden indebærer en procedure som indeholder:

- Mikrobiologiske opstartmålinger (som regel udført af ekstern rådgiver)
- Støvsugning af overflader (før dampafrensning)
- Dampafrensning (der renses indtil den mikrobiologiske slutkontrol viser ren overflade)
- Støvsugning af overflader (efter dampafrensning)
- Mikrobiologisk slutkontrol
- KS-rapport omfattende alt ovenstående, samt billedokumentation

Der anvendes ikke kemikalier i forbindelse med micro clean-metoden.

Der benyttes dampgeneratorer med løbende vandforsyning til kedlen. Der benyttes tryk på ca. 8 atmosfære, hvilket modsvarer en damptemperatur på ca. 150°C. Maskinerne benytter 400 V, med en kapacitet på 9-11 Amp.

Overfladerne renses med:

- børstehoved
- børstehoved med langtavet bomuldsklud.

Micro clean-metoden kan anvendes på alle faste materialeoverflader som:

- træ og træbaserede materialer
- beton og letbeton
- stål
- tegl
- pudsede overflader
- malede og lakerede overflader.

Fordelene ved metoden er at den er miljøvenlig og ikke destruktiv på de anbefalede afrensingsområder. Metoden åbner muligheder for at bevare både de primære og sekundære bærende og understøttende konstruktioner, hvor alternativet ellers var nedrivning. Metoden giver derfor mulighed for en gunstig samlet renoveringsøkonomi.

12.6 Alternative muligheder

Som mere alternative bud på afrensningmetoder der evt. kunne undersøges nærmere kan nævnes:

- UV-lys. Metoden anvendes i dag bl.a. til at desinficere vand.
- Mikrobølgeopvarmning. Metoden anvendes i dag til bekæmpelse af ægte hussvamp.

For begge metoder gælder det dog, at de ikke er afprøvet på de relevante kombinationer af materialer og konstruktioner, og at metoderne i hvert fald pt. må forventes at være for dyre til at de i praksis kan komme på tale.

12.7 Risici for skader på materialer ved afrensning

Ved udvikling og vurdering af enhver rensningmetode bør det nøje overvejes hvilke risici metoden indebærer for materialet

Som et evt. minimum bør følgende punkter overvejes:

- Giver midlet/metoden anledning til fysisk skade på materialet.

Følgende forhold bør undersøges:

- om materialets konstruktive egenskaber ødelægges ved anvendelse af middel eller metode
- om der indtræffer rent æstetiske ændringer efter anvendelse.

Såfremt der opstår ændringer af materialets egenskaber bør det undersøges om disse ændringer har betydning for hvor hurtigt der på ny kommer vækst. Indeværende projekts undersøgelser har vist at en overflades ruhed har betydning for etablering af vækst. Hvis mekanisk afrensning efterlader en mere ru overflade, end der oprindeligt var, vil der typisk være øget mulighed for ny vækst. Ved vækst af endolithiske laver der vokser ned i materialerne kan det ved mekanisk rensning være umuligt at fjerne al vækst uden at ødelægge materialernes overflade.

For overfladebehandlede flader skal man sikre sig, at overfladebehandlingen kan tåle afrensningen. F.eks. vil en række malinger ikke kunne tåle hedvandsrensning ved høje temperaturer. Ligeledes er der forskel på, om de vil kunne tåle afrensning med syrer og baser.

Som husejer vil man altid være interesseret i lang holdbarhed af materialerne og lang holdbarhed af en given behandling. Man kan godt forestille sig at hyppig gentagen behandling med et middel eller en rensningmetode kan accelerere eventuelle skader.

- Giver afrensningmetoden mulighed for spredning af bevoxsningerne?

Ved mekaniske afrensninger kan der være risiko for at man ved ufuldstændig afrensning snarere spreder organismene i stedet for at fjerne dem. Umiddelbart vil fladen måske synes ren, men er der aflejret små spredningsenheder overalt i materialets porøsiteter vil ny vækst hurtigt genopstå.

- Giver midlet/metoden anledning til uønskede misfarvninger?
- Indeholder midlet kemiske bestanddele der kan reagere med byggematerialerne og danne krystalliserende salte med forvitring til følge?

13 Konklusioner

13.1 Indledning

Projektet har som tidligere beskrevet taget udgangspunkt i de eksempler på vækst der er fundet i projektføreløbet. Prioriteringen af hvilke undersøgelser og sammenhænge, der skulle ske fordybelse i, har således delvist været styret af hvilke kombinationer af vækst og materiale vi har fået mulighed for at undersøge nærmere.

Det viste sig hurtigt i projektføreløbet at være nemmere at få lov til at udskifte bevoksede tagsten med nye end at udtage mursten, mørtel og pudsoverflader fra murværk. Projektet har derfor fået fokus på de organismer som kan vokse på tagsten. For en lang række af organismene gælder det dog at de også er identificeret på murværk, og der er ingen grund til at mene, at viden hentet fra undersøgelser af tagsten ikke i stor udstrækning kan overføres til murværk.

Da vi ikke har konstateret svampe på tagstenene har undersøgelser af svampe dog kun fået en beskedent andel af projektet. Svampe er især konstateret på malede og pudsede facader hvorfra det i indeværende projekt kun har været muligt at få enkelte prøver til nærmere undersøgelse. Derfor er der i følgende afsnit draget meget få konklusioner vedr. afgørende parametre for svampe.

13.2 Typer af vækst

Projektet har givet et grundigt kendskab til hvilke organismer, der bevoxer murværk, tegl og betontagsten. Der er udarbejdet et farvekatalog der beskriver de identificerede arter. Derudover indeholder kataloget nøgler der kan anvendes til identifikation af organismene.

Arbejdet med identifikation af de forskellige organismer har afsløret en særdeles stor artsrigdom på et relativt lille materiale. Ved arbejdet har vi dog også konstateret, at de mest almindelige arter med størst dækningsgrad blev gengangere, hvilket betyder at kataloget efter vort skøn vil være et brugbart redskab fremover. En så omfattende undersøgelse over hvilke organismer vi finder på danske materialer har ikke eksisteret tidligere. Undersøgelsen skønnes endvidere at have europæisk interesse.

Der er identificeret 26 arter af laver, 5 arter af alger, 8 arter af mosser og 3 arter af svampe.

De alger der findes på murværk, tegl- og betontagsten tilhører gruppen af luftalger, dvs. de spredes via luften.

Der synes at være en tendens til at endolithiske laver (laver der vokser ned i stensubstratet) under normale forhold foretrækker beton og mørtel og ikke i samme grad trives på rødt tegl. Teorien er dog usikker, da vurderingen af om *Physcia caesia* - en på tegl almindeligt forekommende lav - er epilithisk (vokser

ovenpå stensubstratet), er foretaget på baggrund af et enkelt tyndslib. Teorien bør undersøges nærmere ved fremtidige undersøgelser af begroede materialer.

Det øgede kendskab til hvilke organismer, der bevoxer murværk, tegl og betontagsten, øger forudsætningen for at forstå:

- evt. nedbrydningsmekanismer på murværk, tegl og beton
- spredningsmekanismerne
- effekt/manglende effekt af rensning
- behovet for forebyggelse
- at udvikle relevante testmetoder
- at yde en bedre og mere kvalificeret rådgivning

For branchen betyder det, at vi nu har bedre mulighed for at undersøge en lang række faktorer herunder:

- om misfarvninger skyldes kemi eller biologi
- om årsagen kan tilskrives materiale, konstruktion, udførelse eller miljø
- hvordan vækst kan forebygges og bekæmpes

13.3 Betydende vækstparametre

Generelt fra litteraturen vides, at tre faktorer skal være opfyldt for at en organisme kan etablere sig på et materiale:

1. en overflade, som organismen kan forankre sig til
2. tilstrækkelig næring til udvikling og vækst
3. tilstrækkelig vand til at forsyne de fysiologiske funktioner og i mange tilfælde deres formering og spredning (cyanobakter (svovlbakterier), alger, mosser og laver). Fugtigheden bestemmer kinetikken, biomassen og vegetationens sammensætning.

Substrats indhold af næringsstoffer, fugtforhold og pH er parametre som er betydende for floraens sammensætning. Andre faktorer som frost, forurening, lys og temperatur samt materialets karakteristik og deres indbyrdes påvirkninger er også vigtige.

13.4 Forekomst af vækst på materialer

I farvekataloget er der i så vid udstrækning som muligt redegjort for hvilke materialetyper de specifikke organismer er identificeret på i indeværende projekt samt hvilke materialetyper organismerne iht. øvrig litteratur foretrækker.

På betontage og mørtel ses generelt mere lavvækst end på tegl. Nogle arter af lav er dog også helt almindelige at finde på tegl - f.eks. ses den sølvgrå lav *Physcia caesia* hyppigt. Artsdiversiteten af laver på betontage er dog generelt meget større, og ofte er laverne den dominerende vækst på betontage. På betontage er den orange lav *Xanthoria parietina* ofte meget dominerende i det overordnede synsindtryk af væksten.

På tegltage ses alger hyppigere som den dominerende vækst, men jævnligt med spredte lavpuder. Der er dog også i projektforløbet set tegltagsten der har været helt tilgroet med lavvækst.

Mos ses hyppigst i overlæg mellem tagsten samt på endeflader, hvor der er større ruhed og dermed bedre vedhæftning. Derudover ses mos hyppigst i mørtelfuger, ofte med udspring i revne mellem sten og fuger. På betontagsten er der dog også set eksempler på at mos har fået vedhæftning i overfladen af betonen. Dette er ikke set på tegl.

På murværk er der både identificeret alger, lav, mos. Lav- og mosvæksten udgår ofte fra mørtelfugerne, hvorfra de breder sig udover byggestenene.

Svampe er identificeret på pudse og/eller malet murværk. Som tidligere nævnt er der dog ikke i projektet fokuseret ret meget på disse, og yderligere undersøgelser ville sandsynligvis resultere i identifikation end langt flere end de 3 arter vi har fundet.

13.5 Afgørende materialeegenskaber

Følgende materialeparametre er undersøgt:

- porøsitet
- pH
- densitet
- vandoptagelse
- fordampningshastighed
- næringsstoffer
- overfladens ruhed.

13.5.1 pH

Undersøgelserne viser at pH har betydning for arten af vækst der forekommer på materialerne. Undersøgelsen tyder ligeledes på, at pH måske kan have indflydelse på hvor hurtigt der vokser grønalger på materialerne. De fleste af de identificerede lavararter foretrækker tilsyneladende et pH over ca. 9.

13.5.2 Densitet og vandoptagelse

Densitet og vandoptagelse har ingen entydig indflydelse på forekomst af vækst.

13.5.3 Fordampningshastighed

For teglsten er det et velkendt fænomen at evnen til at afvise vand først indtræder efter en vis periode efter oplægning. Denne ændring af stenen må forventes også at kunne have en indflydelse på vandets fordampningshastighed fra stenene. Derfor kan man ikke umiddelbart udfra undersøgelser af nye sten afrapportere den reelle vandfordampningshastighed efter oplægning. Fordampningshastigheden af nyproducerede sten kan derfor ikke umiddelbart anvendes til at vurdere materialets tilbøjelighed til at blive begroet.

Sammenlignende bestemmelser af fordampningshastigheden har overraskende vist, at sten med kraftig vækst har højere fordampningshastighed end sten med svag vækst. Undersøgelserne har alene omfattet sten med vækst af alger og lav.

13.5.4 Næringsstoffer

Materialernes indhold af næringsstoffer vurderes at være af underordnet betydning for forekomsten af vækst. Derimod vurderes det at spille en afgørende rolle, hvilken næring der bliver tilført fra rensedmidler, forudgående vækst, biologiske aflejringer fra dyr og planter mv. De materialer der er omfattet af indeværende projekt indeholder generelt ikke stoffer som kan forventes at være giftige overfor biologisk vækst. Undersøgelsen har dog ikke omfattet malinger, glasurer og andre overfladebehandlinger i tilstrækkelig grad til at konkludere noget om betydningen af næringsstoffer i disse.

13.5.5 Overfladens ruhed

Overfladens ruhed har vist sig at have betydning for hvor hurtigt og hvor kraftig begroning der kommer på materialet. Når alt andet er lige, vil materialer med ru overflade blive mest begroet. Glatte overflader kan dog også sagtens med tiden blive begroet hvis øvrige betingelser er hertil, men begroningen vil typisk være forsinket i forhold til tilsvarende materialer med ru overflade.

Overfladeruheden vil ændres med tiden særligt for cement og kalkholdige materialer bl.a. pga. påvirkning fra sur regn.

13.5.6 Porøsitet

For tegl kan det ikke udelukkes at porøsiteten, udtrykt ved mængden af luft har indflydelse på forekomst af vækst. De gennemførte mikroanalyser af tyndslib viser et højere luftindhold i materialet i områder med kraftig vækst end i områder med ringe vækst. Hvor luftporer ligger meget tæt på overfladen ses nedtrængning af vækst i disse.

For beton synes porøsiteten, udtrykt ved indholdet af luftporer, ikke at have indflydelse på forekomst af vækst. Hvor der forekommer vækst ses der dog nedtrængning i porer meget tæt på overfladen (0,5 mm fra denne).

På malede overflader ses hovedsageligt vækst, hvor malingen er nedbrudt/gennembrudt. I disse områder ses nedtrængning langs sten tæt på overfladen. Det er ikke muligt at afgøre, om det er væksterne der gennembryder malingen, eller om de trænger ned, hvor malingen i forvejen er gennembrudt. Det kan dog ikke udelukkes, at væksten kan medvirke til nedbrydning af malingslag, hvor underliggende porøsiteter giver svagheder i malingen.

13.6 Identificere afgørende konstruktionsforhold

Alle konstruktionsforhold der påvirker lys, varme og fugtforhold vurderes at være betydende for forekomsten af biologisk vækst. Desuden vurderes forhold, der påvirker vækstens mulighed for vedhæftning, at have en afgørende betydning, herunder særligt udformning af mørtelfuger, korrekt valg af mørtel til den givne konstruktion og evt. efterbehandlinger der påvirker overfladeruheden f.eks. ved igangsætning af forvitring.

I projektet er der set nærmere på følgende forhold:

- geografisk placering og orientering
- tagudhæng
- taghældning
- undertag

- tagventilation
- opstigende grundfugt
- defekter (utætte nedløbsrør mv.)
- fugeudformning
- mørtelkvalitet

13.7 Virkningen af den biologiske vækst på materialerne/skadestyper

Der er generelt stor uenighed om, hvilken virkning biologisk vækst har på materialerne og hvorvidt biologisk vækst kan være årsag til betydende nedbrydning af byggematerialer. I afsnit 9 "Skadestyper" er der redegjort for såvel resultater af egne undersøgelser samt lavet en gennemgang af relevante undersøgelser fra litteraturen.

13.8 Indtrængning i materialet, skader pga. syreudskillelse

I forbindelse med tyndslibsundersøgelserne er der også set lidt på, hvor langt ind i selve materialet den biologiske vækst er konstateret. Der er kun set op til ca. 0,5 mm's indtrængning af vækst. Som beskrevet tidligere skelnes der mellem epilithiske og endolithiske laver hvor de endolithiske laver kan vokse ind i selve stenmaterialet. Udbredelsen af de endolithiske laver på de sten der har været udvalgt til tyndslibsundersøgelserne har dog været så beskeden, at kun på 3 slib vurderes slibet at være lagt igennem en endolithisk lav, og der har i intet af tilfældene været tale om en meget kraftig begroning.

I litteraturen (jf. afsnit 9) kan man dog finde mange artikler der mener at kunne konkludere, at biologisk vækst er årsag til nedbrydning af materialer. Med den dokumentation, der foreligger for forskellige kemisk/biologiske processer, er der nok ingen tvivl om, at væksten kan igangsætte en række af forskellige nedbrydningsprocesser. Ofte omhandler de nævnte artikler dog undersøgelser af historiske monumenter med en væsentligt højere alder end det man normalt vil betragte som materialernes forventelige levetid. Mange af artiklerne omhandler vækst på sandsten og/eller kalksten som ikke er omfattet af indeværende projekt.

På baggrund af indeværende projekts undersøgelser vurderes det, at de biologiske nedbrydningsprocesser igangsæt af organismernes udskillelse af syrer, under normale omstændigheder ikke vil have indflydelse på materialernes konstruktive levetid.

13.9 Mekaniske løft

Ved kraftig mospudedannelse på tage i overlap mellem sten kan det ikke udelukkes at mosset kan bevirke indtrængning af vand ved opstemning af vand eller evt. et løft af stenene.

13.10 Ændret fugtafgivelse

Den gængse holdning til biologisk vækst er, at væksten holder op fugten og forsinker fordampningen fra materialerne. Indeværende projekts undersøgelser af fordampningshastighed har dog vist ved målinger på 5 sæt af sammenlignelige prøver, at der kan konstateres øget

fordampning ved øget vækst. Det skal dog her igen understreges, at der kun er udført målinger med vækst af alger og lav. Undersøgelsen giver således ingen oplysninger om, hvorledes fordampningshastigheden påvirkes af kraftig mosvækst.

Der er således intet der på baggrund af disse undersøgelser tyder på, at øget vækst af alger og lav giver anledning til større fugtophobning med større risiko for frostsprængninger til følge.

13.11 Betydning for overfladebehandlinger

I forbindelse med vedhæftning af overfladebehandlinger (maling, kalk mv.) er der i projektføreløbet set eksempler, hvor den biologiske vækst er vurderet som en medvirkende årsag til dårlig vedhæftning og afskalning af overfladebehandlingerne. I forbindelse med ny overfladebehandling vurderes det derfor relevant at foretage grundig afrensning af konstruktionen for at hindre dårlig vedhæftning og afskalning.

På baggrund af mikroanalyse af tyndslib af malede betontagsten kan det ikke udelukkes at vækst i nogle tilfælde kan medvirke til nedbrydning af malingslag der hvor underliggende porøsitet giver svagheder i malingen. Det formodes dog, at denne nedbrydning er meget langsom og sjældent vil være den udslagsgivende årsag til afrensning og nymaling.

Ændret æstetisk indtryk i form af lokal vækst/farveændringer/misfarvninger, betragtes af mange som en skade. Om vækst opfattes som en misfarvning eller en uønsket ændring af konstruktionens æstetiske udseende er naturligvis en meget subjektiv vurdering. Tilsvarende er det en meget subjektiv vurdering, om en æstetisk ændring betegnes som en decideret skade. Hvor de æstetiske ændringer resulterer i afrensninger, erstatning med nye materialer vurderes det dog relevant at behandle problemet, som var det en skade.

Vækst på malede facader med alge- eller svampevækst er et eksempel på vækst som jf. ovenstående næppe nedbryder malingen inden for den forventede levetid, men hvor væksten ofte er så uønsket, at afrensning og nymaling bliver gennemført.

13.12 Potentielle rensmidler/metoder

Der er i projektet gennemført forsøg med hedvandsrensning med 2 forskellige tryk og temperaturer. Forsøgene viste at metoden kunne fjerne den synlige vækst men at der skete synlig skade på materialernes overflade. Disse skader øger mulighederne for ny vækst og allerede ca. 6 måneder efter afrensning kunne der atter konstateres synlig ny vækst.

Der er gennemført orienterende forsøg med det eneste relevante godkendte kemiske algebekæmpelsesmiddel der er på det danske marked. De orienterende forsøg med påsprøjtning af middel og forsigtig spuling med vand har dog ikke resulteret i vellykket afrensning på de afprøvede materialer.

Øget kendskab til arterne af vækst har givet større muligheder for at vurdere risici ved forskellige afrensningsmetoder:

- Ved mekaniske afrensninger kan der være risiko for at man ved ufuldstændig afrensning snarere spreder organismene i stedet for at fjerne

dem. Umiddelbart vil fladen måske synes ren, men er der aflejret små spredningsenheder overalt i materialets porøsitet vil ny vækst hurtigt genopstå. Det må forventes, at særligt lavararter med sorallier vil have gode betingelser for at genstarte væksten, da de i modsætning til arter med apotesier ikke skal "indfange" en alge for at formere sig.

- Ved vækst af endolithiske laver, der vokser ned i materialerne, kan det ved mekanisk rensning være umuligt at fjerne alle organismer uden at ødelægge materialernes overflade.

Risici

Ved udvikling og vurdering af enhver rensemetode bør det nøje overvejes hvilke risici metoden indebærer for materialet. I delrapport 1 er der for de enkelte midler og metoder, der er set anvendt, givet en kort gennemgang af de risici de enkelte midler/metoder kan indebære. I indeværende delrapport er listet en række punkter der som et minimum bør overvejes inden en afrensning igangsættes.

14 Referencer

Internationale kontakter:

1. The Robert Gordon University
Faculty of Science & Technology
Aberdeen, UK
Dr. Rachael Wakefield
2. TNO Building and Construction Research
Delft, The Netherlands
Departement of Material Science
E.C. van Hal
3. Erlus Baustoffwerke AG
Neufahrn, Tyskland
4. Arbeitsgemeinschaft Ziegeldach e.V.
Bonn, Deutschland
Herrn Zanger
5. Murbrannsjens Forsknings- og Informationskontor
Mur-Sentret, Oslo, Norge
Morten Langvik
6. Institut für Ziegelforschung Essen e.V.
Bonn, Deutschland,
Dr.-Ing. K. Junge
7. TBE
Zürich, Switzerland
8. Gütegemeinschaft Kalkstein, Kalk- und Mörtel
Köln, Deutschland
9. ECO style BV
The Netherlands
10. Wacker-Chemie
Burghausen, Deutschland
Dr. Heinz Geich
11. Lunds Tekniska Højskole
Sverige
Kenneth Sandin
12. Stichting Technisch Centrum voor de Keramische Industrie
The Netherlands

Danske kontakter

1. Følgegruppen
2. Københavns Universitet
3. Degussa-Hüls Norden AB
Bjørn Walby
4. Sylan og Beton A/S
5. Ph.d.-studerende DTU, Eva Møller
6. Professor Michael Givskou, DTU, Institut for Mikrobiologi
7. Wacker-Chemie; Steen V. Grubert

Litteratur

1. Stichting Bouwresearch: "Bealging vann de gebouwde omgeving", Rotterdam 1997
2. Toshikazu Nakaya: Development of a staining preventive coating for architecture", Progress in Organic Coatings, 27 (1996) 173-180.
3. Andrea Born, Josef Ermuth: "Neue Mikro-Siliconharzfarbe mit Lotus-Effect für trockenen und saubere Fassaden", Farbe&Lack 3/99, Seiten 96-104
4. Fürstner, Neinhuis, Barthlott: "Der Lotus-Effekt: Selbstreinigung mikrostrukturierter oberflächen", Universität Bonn, Nachrichten aus der Chemie, 48, 2000
5. Jørgen Bech-Andersen, "Biologisk Nedbrydning af byggematerialer", Dansk Selskab for Materialprøvning og -forskning (DSM), Materialnyt 1:89,
6. "Bautenschutzmittel", Wacker Silikone, 1986
7. Dansk Teknologisk Institut, Byggeteknisk Institut, "Reparation af Betonkonstruktioner"
8. D.M. John, Algal growths on buildings: a general review and methods of treatment", Biodeteriation Abstracts, June 1988
9. D. Jones and M.J. Wilson, "Chemical activity of lichens on mineral surfaces - a review ", International Biodeteriation, 1985, vol.21. No.21
10. B.A. Rickardson: "Control of biological growth", Stone Industries, March/April 1973
11. "Afrensningmetoder ude og inde", Miljøministeriet, Planstyrelsen: Information om Bygningsbevaring, 301191-18.
12. "Overfladebehandling, Kalkning", Miljøministeriet, Planstyrelsen: Information om Bygningsbevaring, 090589-18.
13. R.J. Palmer, Jr., " Microbial communities involved in the weathering of three historic buildings in Northern Germany", Institut für Allgemeine Mikrobiologie, Christian-Allbrechts-Universität, Kiel
14. O. Guillitte, R. Dreesen, "Laboratory chamber studies and petrographical analysis as bioreceptivity assessment tools of building materials, The Science of the Total Environment 167 (1995) 365-374
15. Anton Brasholz, "Der Fassadenanstrich, Untergründe, Werkstoffe, Ausführungen", Callwey Verlag München, 1984

16. S. Deruelle, "Rôle du support dans croissance des microorganismes", *Materials and Structures*, 1991, 163-168
17. Jørgen Bech-Andersen: "Algevækst på bygningsdele", BYG-ERFA 931216
18. P.A. Wood, I.C: MacRae: "Microbial Activity ind Sandstone Deterioration", *Int. Biodeterioration Bulletin* 8(1) 25-27, 1972
19. O. Guillitte: "Bioreceptivity and Biodeteriation of Brick Structures", *Conservation of Historic Brick Structures*
20. "Growth of moss and lichens on clay tiled roofs", Institut für Ziegelforschung Essen e.V. Fo.A.-No 889
21. S.N. Tripathi, B.S. Tiwari, E.R.S. Talpasayi, "Growth of Cyanobacteria (Blue-green Algae) on Urban Buildings, *Energy and Buildings*, 15-16 (1990/91) 499-505
22. B. P. Kremer, "Grünbildung auf Dach- und Verblendziegeln und Pflasterklinkern", *Fachtechnik*
23. Heinz Zanger, "Grünbildung auf geneigten Dächern" *Fachzeitschrift DDM*, Ausgabe 10/97
24. Heinz Geich, Wacker-Chemie: "Silicone Impregnation of heavy clay products"; *Ziegelindustrie International* 8/2001.
25. F.E.W. Eckhardt, "Influence of Culture media employed in studying microbial weathering of building stones and monuments by heterotrophic bacteria and Fungi", *Inst. Allgemeine Mikrobiologie, Univ. Kiel, D-2300 Kiel, FRG.*
26. D. Jones, M.J. Wilson & W.J. McHardy: *Effects of Lichens on Mineral Surfaces*
27. K. Petersen, J. Kuroczkin, A.B. Strzelczyk & W.E. Krumbein: *Distribution and Effects of Fungi on and in Sandstones*
28. Michael Nay: "Kann Wachstum von Algen und Pilzen an wärmedämmten Fassaden verhindert werden?", *Bauphysik* 24 (2002), Heft 1.
29. Haanus Ettl & Georg Gärtner: *Syllabus der Boden-, luft- und Flechtenalgen*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York, 1995. 721 pp.
30. Rikke Kjærsgaard Sørensen: "Biologisk kortlægning af luftforurening i Vejle Amt 1998-99", *Vejle Amt*.
31. Young, M. E.: *Algal growth on building sandstones*, www.rgu.ac.uk/schools/mcrg/mialga.htm
32. Karen Attwell: "Facadebeplantning", *Forskningscentret for Skov & Landskab, Statens Byggeforskningsinstitut, Dansk Teknologisk Institut, Bygge og Boligstyrelsen*, 1993.
33. *Tegl* 18
34. Torsten Holmbo: "Teglværksler i Danmark", *DGU* 2001/92
35. Ebbe Hagemann: "Byggematerialer, Grundbog", 1981, ISBN 87-502-0531-5
36. Lars Erik Nevander, Bengt Elmarsson: "Fugthandbok - praktik och teori", 1994, AB Svensk Byggtjänst och Lilian Johansson, ISBN: 91-7332-716-6

Bilag 1

Registreringer fra områdeundersøgelse

	59	61	63	96	100	108	110
Stentype	Beton	Tegltagsten mokka	Beton, BC	Tegl	Tegltagsten	Beton, Braas Tagsten	Beton, B&C tag-system
Farve	Røde	Brune	Brune	Røde	Røde	Røde	Brune
Alder	16 år	18 år	20 år	16 år	ca. 20 år	17 år	17 år
Alder, hvor vækst er konstateret	1994 da ejendom blev overtaget	?				10 år	
Undertag	Ja	Ja	Ja	Ja		Ja	Nej
Under-tagstype	Armeret plast	Plast	Monarfol	Sort plast		Plast	-
Taghældning	30°		23°		ca. 30°	30°	Valmet
Fugtproblemer på loft	Nej		Nej	Nej		Nej	Nej
Overfladebehandlet	Nej	Nej	?			Nej	Nej
Afrenset	Ja, højtryksrensning i 1996. Pænt resultat, men vækst kommer igen nu.	Nej	Nej	Nej		Ja, med højtryksrensning i 1994. Pænt tag i 3 år	Nej
Skyggegivende vækst i omgivelser	Kun lave re bevoksning	Ingen høj bevoksning	Ingen høj bevoksning	Nej	Enkelt halvstort kirsebærlignende træ nær sydvendt gavl	Enkelte høje træer i nærheden af sydgavl	Enkelte høje fyrretræer og birke-træer
Særlige affaldsgivende vækst i omgivelser		Nej	Nej	Nej		Ovennævnte høje træer	Ovennævnte

	Hus nr.:	59	61	63	96	98	100	108	110
Vækst	Materialetype	Beton	Tegl	Beton	Tegl	Beton	Tegl	Beton	Beton
Alge	Alger		x ingen prøve		X ingen prøve				
Mos	Leskea polycarpa			X (43.1)				x (45.2)	x (46.1)
	Bryum caespiti- um								x (46.2)
	Hypnum cupres- siforme						x (44.1)		
	Ceratodon purpu- reus								
Lav	Caloplaca citrina			X (46.3)					
	Melanelia exaspe- ratula				X				
	Xanthoria parieti- na orange lav	x ingen prøve		X ingen prøve		x (43.2)		x (45.1) (45.4)	x ingen prøve
	Physcia caesia (sølvgrå lav)	x ingen prøve					x ingen prøve	x ingen prøve	x (46.3)
	Lecanora albe- scens							x (45.4)	
	Lecanora disper- sa							x (45.4)	
	Phaphyscia orbi- cularis							x (45.4)	
	Candellariella au- rella							x (45.4)	
	Physcia tenella							x (45.4)	
	Caloplaca holo- carpa							x (45.4)	
	Bryum caespicti- cium							x (45.4)	
						X Igen prøve			
	Leskea polycarpa							x (45.4)	

Bilag 2

I vedlagte bilag er listet de organismer, der er undersøgt i projektet. De forskellige organismer er i litteraturen og i "kataloget" angivet som

Sj. = sjælden

Alm. = almindelig forekommende

M. alm. = meget almindelig

Skala til vurdering af dækningsgrad:

1: <2%

2: 2-5%

3: 5-20%

4: 20-50%

5: >50%

a: Laver med store aggregerede thalli (ex. *Xanthoria parietina*)

s: Laver med spredte og små thalli (ex. *Lecanora dispersa*)

Laver

Art	Udbredelse lit.	Antal fund	Dækningsgrad	Beton	Mørtel	Tegl	Granit	Prøve nr.
<i>Laver</i>			1-5 (15)					
<i>Buellia aethalea</i>	Alm.	Sj. (4)	1-2 (4)			+		1.1T, 1.2T, 5.3T, 21.1T
<i>Caloplaca citrina</i>	M. alm.	M. alm. (10)	1 (4)	+	+			2.2B, 26.1B, 240-1B, 240-2B, 21.3M, 21.4M, 21.5M, 21.6M, 21.7M, 43.2
<i>Caloplaca decipiens</i>	Sj.	Sj. (1)	-		+			22.1M
<i>Caloplaca holocarpa</i>	M. alm.	M. alm. (12)	1-4s (6)	+	+	+		2.1B, 2.2B, 5.1T, 13.1T, 13.2 T, 240-2B, 21.3M, 21.5M, 21.6M, 21.8M, 30SIII, 45.4
<i>Caloplaca saxicola</i>	M. alm.	Sj. (1)	1 (1)	+				240-2B
<i>Candelariella aurella</i>	Sj.	Alm. (8)	1 (1)	+	+			2.2B, 240-2B, 21.3M, 21.4M, 21.5M, 21.7M, 21.8M, 45.4
<i>Candelariella vitellina</i>	Sj.	Sj. (2)	1 (1)		+	+		13.2T, 21.4M
<i>Catillaria chalybeia</i>	Sj.	Sj. (3)	1 (3)			+		5.1T, 5.2T, 5.3T
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	Sj.	Sj. (1)	3 (1)			+		4.1T
<i>Lecania erysibe</i>	Alm.	Sj. (1)	1 (1)	+				2.2B
<i>Lecania cfr. Sylvestris</i>	Sj.	Sj. 1	1 (1)	+				2.2B
<i>Lecanora albescens</i>	M. alm.	Alm. (9)	1 (3)	+	+	+		2.2B, 13.1T, 21.2M, 21.5M, 21.6M, 21.7M, 21.8M, 26.1B, 45.4
<i>Lecanora dispersa</i>	M. alm.	M. alm. (13)	1-3s (7)	+	+	+		2.1B, 2.2B, 5.1T, 13.1T, 13.2 T, 21.3M, 21.4M, 21.5M, 21.6M, 21.8M, 26.1B, 45.4, 240-1B
Art	Udbredelse lit.	Antal	Dækningsgrad	Beton	Mørtel	Tegl	Granit	Prøve nr.

	delse lit.	fun d	gs- gra d					
<i>Lecanora muralis</i>	Alm.	Sj. (1)	-			+		23.1T
<i>Lecanora cfr. salina</i>	M. sj.	Sj. (2)	1 (2)	+		+		2.2B, 13.2T
<i>Lepraria incana</i>	M. alm.?	Sj. (1)	1-4 (2)			+		9.1T
<i>Melanelia exasperatula</i>	M. alm.?	Sj. (3)	1 (2)			+		5.1T, 13.1T, 47.1
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	M. alm.	Sj. (2)	2a (1)	+				2.2B, 45.4
<i>Physcia caesia</i>	Alm.	Sj. (5)	3-5a (2)			+		3.2T, 5.1T, 13.1T, 46.3, 47.2,
<i>Physcia tenella</i>	Alm.	Alm. (6)	1 (3)	+		+		2.2B, 3.2T, 9.1T, 13.1T, 13.2T, 45.4
<i>Rinodina gennarii</i>	Sj.	Sj. (2)	1 (2)	+		+		2.2B, 26.1B
<i>Tephromela atra</i>	Alm.	Sj. (1)	-				+	6.2G
<i>Verrucaria muralis</i>	Alm.	Sj. (1)	-		+			21.4M
<i>Verrucaria nigrescens</i>	Alm.	Sj. (3)	3 (1)	+	+			21.3M, 21.5M, 240-1B
<i>Xanthoria parietina</i>	M. alm.	Alm. (9)	1-3a (5)	+		+	+	2.1B, 2.2B, 5.1T, 6.3G, 8.1T, 13.1T, 13.2T, 26.1B, 45.4
<i>Xanthoria polycarpa</i>	Alm.	Sj. (2)	1-2 (2)			+		13.1T, 13.2T

T: SUBSTRAT TAGTEGL, B: SUBSTRAT BETON-TAGSTEN, M: SUBSTRAT MØRTEL, G: SUBSTRAT GRANIT

Mosser

Art	Ud- bre- delse	An- tal fun d	Dæ- knin- gsg- rad	Be- ton	Mør- tel	Tegl	Gra- nit	Prøve nr.
<i>Mosser</i>			3					
<i>Bryum caespiticium</i>	Alm.	2			+			12.1M, 45.4
<i>Bryum sp.</i>	?	1			+			21.2M
<i>Ceratodon purpureus</i>	M. alm.	1				+		14.1
<i>Hedwigia ciliata</i>	Alm.	2						14.1, 42.1
<i>Hypnum cupressiforme</i>	M. alm.	3	3	+		+		7.1T, 42.2, 240-1B
<i>Leskea polycarpa</i>	Sj.	3						43.1, 45.4, 46.1,
<i>Pohlia nutans</i>	M. alm.	1						14.2
<i>Tortula muralis</i>	M. alm.	3			+			20.2, 20.3, 23.1M

T: SUBSTRAT TAGTEGL, B: SUBSTRAT BETON-TAGSTEN, M: SUBSTRAT MØRTEL, G: SUBSTRAT GRANIT

Alger

Art	Ud- bre- delse	An- tal fun d	Dæ- knin- gs- gra d	Be- ton	Mør- tel	Tegl	Hvi d kalk san dste n	Gra- nit	Prøve nr.
<i>Alger</i>			1-5, gn.s n2,5 (16)						
<i>Cfr. Apatococcus</i>	M. alm.	2	2	+		+			3.2T, 26.1B
<i>Grønalger sp.</i>	?	5	2,2, 3,5, 2,3, 1,1, 4,1, 3,1,3	+		+			2.1B, 3.2T, 11.1T, 13.2T, 21.1T
<i>Cfr. Klebsormidium 1</i>	M. alm.	8	1,4	+		+			1.1T, 1.2T, 1.3T, 3.1T, 5.1T, 5.2T, 9.1T, 240- 1B
<i>Cfr. Klebsormidium 2</i>	M. alm.	4	1,1	+		+			2.2B, 3.2T, 4.1T, 26.1B
<i>Haematococcus pluvialis</i>	M. alm.	2			+		+		

T: SUBSTRAT TAGTEGL, B: SUBSTRAT BETON-TAGSTEN, M: SUBSTRAT MØRTEL, G: SUBSTRAT GRANIT

Svampe

Art	Ud- bre- delse	An- tal fun d	Be- ton	Mør- tel	Tegl	Gra- nit	Prøve nr.
<i>Alternaria alternata</i>	M. alm.	1					
<i>Cladosporium herbarum</i>	M. alm.	2					
<i>Pyronema domesticum</i>	M. alm.	1					

T: SUBSTRAT TAGTEGL, B: SUBSTRAT BETON-TAGSTEN, M: SUBSTRAT MØRTEL, G: SUBSTRAT GRANIT

Registreringsskema

Karakterisering af biologisk vækst samt evt. udtagning af prøver

Dato for besigtigelse	
Navn:	
Adresse på konstruktion:	
Kontaktperson/tlf. nr.	
Sagsnr. på kundeopgave:	
Hvad er konstruktionens anvendelsesformål (beboelse, stald, fabrik mv.)	
Konstruktionsdel med biologisk vækst (tag, mur mv.):	
Konstruktionens geografiske orientering (nord, syd...)	
Beskrivelse af omgivelserne (høje træer, skov, åbent område mv.)	
Materialetype hvorpå den biologiske vækst vokser (tegl, beton, mørtel?) Hvis muligt angiv specifik materialebetegnelse evt. med leverandørangivelse	
Konstruktionens alder Hvornår er den biologiske vækst registreret?	
Beskriv den biologiske vækst mht. farve, type (ligner det mos, alger, lav) mv.	

<p>Beskriv den biologiske væksts udbredelse på konstruktionen, placering:</p> <p>Er der områder uden vækst?</p>	
<p>Ved vækst på tage:</p> <p>Er der undertag? Hvis ja, hvilken type?</p> <p>Hvad er taghældningen?</p>	
<p>Er der nogen tegn på skader?</p> <p>Vurderes væksten med tiden at kunne forårsage skader? (hvis ja: hvordan?)</p>	
<p>Har konstruktionen andre skader/svagheder/fejl:</p> <p>Vurderes disse evt. at påvirke den biologisk vækst?</p>	
<p>Er konstruktionen overfladebehandlet (puds, maling, imprægnering mv.)?</p> <p>Hvis ja med hvilken behandling?</p> <p>Hvornår er behandlingen udført?</p>	

Er der foretaget afsyring?	
<p>Har der været gennemført afrensning af konstruktionen?</p> <p>Hvis ja, var formålet at fjerne den biologiske vækst? (æstetiske grunde, frygt for skader, mv.?)</p> <p>Hvilke metoder/midler er forsøgt anvendt?</p> <p>Hvornår er afrensningen gennemført?</p> <p>Resultat af afrensning?</p> <p>Hvem udførte afrensningen?</p>	
<p>Er der udtaget prøver?</p> <p>Beskriv de udtagne prøver: (antal, type, udseende)</p>	
Nummerering af prøver:	
Forklaring til evt. fotos:	