

Miljøprojekt Nr. 784 2003

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

- Hovedrapport

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	7
VÆKST PÅ MURVÆRK, TEGL- OG BETONTAGE	9
STØRRE KENDSKAB TIL MATERIALER OG VÆKSTER	9
<i>Baggrund og formål</i>	9
BRED INTERESSE FOR PROJEKTET	9
<i>Undersøgelsen</i>	9
HOVEDKONKLUSIONER	10
<i>Projektræsultater</i>	10
<i>Afrensning af vækst/vurdering af effekt og risici</i>	11
<i>Muligheder for forebyggelse af vækst</i>	11
YDERLIGERE INFORMATION	12
GROWTH ON MASONRY, CLAY AND CONCRETE ROOFING TILES	15
BETTER KNOWLEDGE OF MATERIALS AND TYPES OF GROWTH	15
<i>Background and objective</i>	15
GENERAL INTEREST IN THE PROJECT	15
<i>The investigation</i>	15
PRINCIPAL CONCLUSIONS	16
<i>Results of the project.</i>	16
<i>Cleaning for growth / evaluation of effect and risks</i>	17
<i>Possibilities for prevention of growth</i>	17
FURTHER INFORMATION	18
1 INDLEDNING	21
1.1 BAGGRUND	21
1.2 AFGRÆNSNING	21
1.3 KILDER	22
2 FORMÅL	23
3 MÅLGRUPPE	25
4 AKTIVITETER	27
4.1 LITTERATURSTUDIE	27
4.2 ERFARINGSOPSAMLING	27
4.3 BESIGTIGELSER/REGISTRERINGER	27
4.4 ENKELTSTÅENDE BESIGTIGELSER/UNDERSØGELSER	27
4.5 OMRÅDEBESIGTIGELSE/UNDERSØGELSE	27
4.6 BIOLOGISKE UNDERSØGELSER AF UDTAGNE MATERIALE- OG VÆKSTPRØVER	27
4.7 UNDERSØGELSER AF UDTAGNE MATERIALEPRØVER	28
4.8 LABORATORIEPRØVNING	28
4.9 AFRENSNINGSFORSØG	28
4.10 ANDEN PRØVNING	28
5 LOVGIVNING	29
5.1 GODKENDELSE AF PRODUKTER/MILJØLOVGIVNING	29

5.1.1	<i>Indledning</i>	29
5.1.2	<i>Lovgrundlag</i>	29
5.1.3	<i>Godkendelse af produkter</i>	29
5.1.4	<i>Produkter uden godkendelse</i>	30
5.2	ARBEJDSMILJØ	30
6	KORTLÆGNING AF MIDLER OG METODER	33
7	BIOLOGISK VÆKST	37
7.1	NØGLE I - OVERORDNET BESTEMMELSE AF BIOLOGISK VÆKST	37
7.1.1	<i>Bakterier</i>	38
7.1.2	<i>Alger</i>	38
7.1.3	<i>Svampe</i>	39
7.1.4	<i>Laver</i>	40
7.1.5	<i>Mosser</i>	40
7.1.6	<i>Andre sporeplanter</i>	41
7.1.7	<i>Højere planter</i>	41
7.2	TYPER AF VÆKST	41
7.3	BETYDENDE VÆKSTPARAMETRE	42
8	MATERIALER OG MATERIALEEGENSKABER	45
8.1	MATERIALER	45
8.2	MATERIALEEGENSKABER	45
8.3	PH	45
8.4	DENSITET	46
8.5	VANDOPTAGELSE/MINUTSUGNING	46
8.6	FORDAMPNINGSHASTIGHED	47
8.7	NÆRINGSSTOFFER	48
8.8	OVERFLADENS RUHED	48
8.9	PORØSITET	49
9	MATERIALEEGENSKABERNES BETYDNING FOR VÆKST	51
9.1	FOREKOMST AF VÆKST PÅ MATERIALER	51
9.2	UNDERSØGTE MATERIALEPARAMETRE	51
9.2.1	<i>Indledning</i>	51
9.2.2	<i>pH</i>	52
9.2.3	<i>Densitet og vandoptagelse</i>	52
9.2.4	<i>Fordampningshastighed</i>	52
9.2.5	<i>Næringsstoffer</i>	56
9.2.6	<i>Overfladens ruhed</i>	56
9.2.7	<i>Porøsitet</i>	57
10	OMRÅDEUNDERSØGELSE	59
10.1	BAGGRUND	59
10.2	FORMÅL	59
10.3	BESKRIVELSE	59
10.4	RESULTAT AF OMRÅDEUNDERSØGELSE	59
11	KONSTRUKTIONSFORHOLDS BETYDNING FOR VÆKST	61
11.1	INDLEDNING	61
11.2	GEOGRAFISK PLACERING OG ORIENTERING	61
11.3	TAGUDHÆNG	62
11.4	TAGHÆLDNING	62
11.5	UNDERTAG/TAGVENTILATION	62
11.6	FUGTSPÆRRING/OPSPRØJT	63
11.7	DEFEKTER	64

11.8	FUGEUDFORMNING	65
11.9	MØRTELKVALITET	67
12	SKADESTYPER	69
13	RENSEMIDLER/METODER	73
13.1	INDLEDNING	73
13.2	FORSØG MED HEDVANDSRENSNING	73
13.3	ANDEN MEKANISK AFRENSNING	73
13.4	KEMISKE MIDLER	73
13.5	DAMPRENSNING/MICROCLEAN AFRENSNING	74
13.6	ALTERNATIVE MULIGHEDER	74
13.7	RISICI FOR SKADER PÅ MATERIALER VED AFRENSNING	74
13.8	ANBEFALINGER	75
14	UDVIKLING OG AFPRØVNING AF TESTMETODE	77
14.1	UDVIKLING AF TESTMETODE	77
14.2	AFPRØVNING AF TESTMETODE	78
14.3	KVALITETSKONTROL AF AFRENSNING	78
14.4	RESULTATER AF DELFASEN: "UDVIKLING OG AFPRØVNING AF TESTMETODE"	79
14.5	DISKUSSION	80
15	MULIGHEDER FOR FOREBYGGELSE AF VÆKST	81
16	FOREBYGGELSE AF VÆKST VED VALG AF RÅMATERIALER SAMT PRODUKTIONSPROCES	83
16.1	INDLEDNING	83
16.2	TEGL	83
16.2.1	<i>Indledning</i>	83
16.2.2	<i>Påvirkning af materialeegenskaber</i>	83
16.3	BETONTAGSTEN, KALKSANDSTEN, MUREMØRTEL, PUDS	88
16.3.1	<i>Indledning</i>	88
16.3.2	<i>Påvirkning af materialeegenskaber</i>	88
16.4	NATURSTEN: GRANIT/GNEJS	89
17	FOREBYGGELSE AF VÆKST VED PLANLÆGNING OG DESIGN AF KONSTRUKTION	91
17.1	INDLEDNING	91
17.2	TAGUDHÆNG	91
17.3	TAGHÆLDNING	91
17.4	TAGVENTILATION	91
17.5	VALG AF FUGEUDFORMNING	92
17.6	UNDGÅELSE AF KONSTRUKTIVE DEFEKTER	92
17.7	VALG AF MATERIALER	92
18	FOREBYGGELSE AF VÆKST VED OPFØRELSE/UDFØRELSE	93
18.1	TRANSPORT OG HÅNDTERING AF MATERIALER	93
18.2	FUGEUDFORMNING	93
18.3	AFSYRING	93
18.4	FOREBYGGENDE OVERFLADEBEHANDLINGER	93
18.5	OVERFLADEBEHANDLINGER GENERELT	94
19	FOREBYGGELSE AF VÆKST I BRUGSFASE/VEDLIGEHOLDELSESFASE	95
19.1	VEDLIGEHOLD AF FUGER/OMFUGNING	95

19.2	AFRENSNINGSMETODER	95
19.3	VEDLIGEHOOLD AF OVERFLADEBEHANDLINGER	95
19.4	BEVOKSNING I OMGIVELSER	96
20	BETYDNING AF FOREBYGGELSE FOR MULIGHEDER VED NEDRIVNING/GENANVENDELSE	97
20.1	INDLEDNING	97
20.1.1	<i>Tilsætning af biocider/giftstoffer</i>	97
20.1.2	<i>Overfladebehandlinger</i>	97
21	KONKLUSIONER	99
22	FORSLAG TIL YDERLIGERE UNDERSØGELSER	105
23	REFERENCER	107

Forord

Denne rapport beskriver 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 har givet 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 er der udført biologisk identifikation af væksten samt en kortlægning af hvilke parametre, der har betydning for forekomst og omfang af den biologiske vækst. Afrapporteringen af dette forløb indeholder 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.

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.

Projektet er fulgt 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

Vækst på murværk, tegl- og betontage

Biologisk vækst er ofte uønsket på bygninger, og diverse bekæmpelsesmidler anvendes hyppigt til fjernelse af væksten. Projektet viser, at de i praksis anvendte midler oftest ikke er godkendt til bekæmpelse af biologisk vækst. Der er gennem projektet opnået kendskab til hvilke vækster der forekommer på materialerne, og betydningen af en række udvalgte materialeparametre og konstruktionsforhold er undersøgt. Der er udviklet og afprøvet en laboratorietestmetode, der kan anvendes ved vurdering af midler og materialer. Undersøgelsens resultater er anvendt til at udarbejde en kritisk gennemgang af de muligheder der er for at forebygge eller bekæmpe biologisk vækst.

Større kendskab til materialer og vækster

Baggrund og formål

Projektet er gennemført for at skabe større kendskab til organismerne og deres foretrukne vækstbetingelser og herigennem kunne beskrive mulighederne for at forebygge uønsket vækst.

Laboratorietesten er udviklet og afprøvet på baggrund af et ønske om at kunne afprøve midler og metoder under kontrollerede forhold og derved give et realistisk billede af et givet middel eller metode. Herved mindskes risikoen for overdosering eller uhensigtsmæssig anvendelse af kemiske midler.

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

Bred interesse for projektet

Undersøgelsen

Projektet er gennemført af Teknologisk Institut i et samarbejde mellem de 3 centre Beton, Bioteknik og Murværk. Projektet er bevilget af Miljøstyrelsen med medfinansiering fra Teknologisk Institut. En række producenter af materialer, rensmidler, leverandører af midler, rensfirmaer mv. har bidraget med oplysninger, deltagelse i følgegruppe, udførelse af rensforsøg mv.

Projektet tager udgangspunkt i de eksempler på vækst der er fundet i projektforløbet på konstruktioner i Danmark. Der er ikke indlagt begrænsninger i eksponeringsforhold eller alder på materialer og konstruktioner.

Hovedkonklusioner

I det gennemførte projekt er betydningen af en række udvalgte materialeparametre undersøgt. Ruhed, overfladenære porøsiteter, pH samt næringsstoffer tilført fra omgivelserne vurderes at have stor betydning for forekomst af vækst. Undersøgelserne tyder på at det i vid udstrækning er forholdene i materialets overflade der er afgørende for omfang og art af vækst.

Afgørende konstruktionsforhold er identificeret. Valg af hensigtsmæssig konstruktionsudformning kan i væsentlig grad reducere omfanget af biologisk vækst.

Undersøgelser af væksternes virkning på materialerne viser generelt ingen tegn på risiko for skader der kan have indflydelse på materialernes konstruktive levetid.

Undtaget er dog de tilfælde hvor vækst kan medvirke til dårlig vedhæftning og afskalning af overfladebehandlinger eller hvor kraftige mospuder på tage kan give mulighed for indtrængning af vand.

Projektets resultater giver således større mulighed for at vurdere hvornår afrensning er nødvendig. I de situationer hvor der ikke er æstetiske krav, der gør væksten uønsket, vil afrensning oftest kunne udelades. I forbindelse med vurdering af konkrete midler eller metoder til forebyggelse eller bekæmpelse af biologisk vækst kan den i projektet beskrevne laboratoriemetode anvendes. Testen er en laboratorietest med en monokultur af en grønalge. Testens anvendelsesområder er:

- Prøvning af midler til bekæmpelse eller rensning
- Prøvning af midler til forebyggelse af etablering af bevoksninger
- Prøvning af materialers modstandsdygtighed overfor etablering af bevoksninger

Den biologiske laboratorietest bør altid kombineres med karakterisering af de væsentlige materialeparametre, særligt i forbindelse med vurdering af midler til forebyggelse og materialers modstandsdygtighed overfor etablering af bevoksninger.

Der er udarbejdet en beskrivelse af de muligheder der er i de enkelte livscyklusfaser for forebyggelse af biologisk vækst. Disse beskrivelser har på materialesiden særligt fokus på mursten, tegltagsten, mørtel og betontagsten.

Projektresultater

Vækst

Projektet har givet et grundigt kendskab til hvilke organismer, der bevoxer murværk, tegl- og betontage. Der er udarbejdet et farvekatalog der beskriver de identificerede arter samt indeholder nøgler der kan anvendes til gruppering og nærmere identifikation af organismerne.

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

Materialeparametre

Undersøgelserne viser, at pH har betydning for arten af vækst, der forekommer på materialerne. Det ses, at teglsten, hvor pH i overfladen falder i løbet af en relativt kort periode, har en tendens til hurtigt at blive bevokset med grønalger.

Overfladens ruhed har betydning for hvor hurtigt og hvor kraftigt begroning der kommer på materialerne. Overfladens ruhed har også betydning for hvilke arter af vækst der har mulighed for at vokse på materialerne.

Materialernes porøsitet, særligt den overfladenære porøsitet vurderes at have indflydelse på forekomst af væksten.

Materialernes indhold af næringsstoffer vurderes generelt at være af underordnet betydning, derimod vurderes det at spille en afgørende rolle, hvilken næring der bliver tilført fra rensmidler, forudgående vækst, biologiske aflejringer mv.

Materialets fugtegenskaber - evnen til at optage og afgive vand samt mulighederne for vandfælder i overfladen - vurderes ligeledes at have stor betydning. Det har dog ikke været muligt i projektforløbet at identificere en specifik fugtparameter som afgørende for mulighederne for vækst.

Særligt interessante er resultaterne af fordampningsforsøgene der viser, at fugt fordamper hurtigere fra kraftigt bevoksede materialer end fra tilsvarende materialer med mindre vækst.

Afrensning af vækst/vurdering af effekt og risici

Projektet har kortlagt de midler og metoder, der i dag i praksis anvendes til afrensning af biologisk vækst.

Der er kun et relevant aktivstof på markedet, der er godkendt til algebekæmpelse, (fedtsyre C-8-C18, hovedfraktion decansyre). I projektet er der udviklet en laboratorietestmetode, der bl.a. kan anvendes til at teste effektiviteten af bekæmpelsesmidler. Testmetoden er bl.a. afprøvet med dette aktivstof. Derudover er der udført orienterende afrensningsforsøg med midlet. Forsøgene har ikke vist en tilfredsstillende effekt på de i projektet undersøgte materialer.

Der er i projektet gennemført afrensning med hedvandsrensning ved 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.

Undersøgelserne viser, at det er væsentligt, ved vurdering af om der skal gennemføres afrensning og ved valg af metode, at undersøge risici ved den rensningsmetode, der påtænkes anvendt. Dette skal særligt ses i lyset af at projektets resultater viser, at vækst ofte kun er et æstetisk problem og generelt ikke giver anledning til forkortelse af materialernes konstruktive levetid.

Muligheder for forebyggelse af vækst

Råmaterialer og produktionsprocesser

Projektet har vist, at det ikke kun er omfanget af vækst, der er afgørende for om væksten ønskes fjernet, men i høj grad også om væksten forekommer ensartet over

hele den aktuelle konstruktion. En vigtig handlingsplan for at undgå uønsket biologisk vækst er derfor at sikre god processtyring, der giver minimum af variationer på de materialeparametre, der vurderes at have betydning.

Muligheder for undgåelse/minimering af vækst ved påvirkning af pH, porøsitet, overfladeruhed, overfladespænding, fugtegenskaber, næringsstoffer/giftstoffer er beskrevet.

Den tidligere omtalte testmetode kan i kombination med materialeteknologiske undersøgelser anvendes til at vurdere effekten af gennemførte ændringer af materialeparametre.

Forebyggelse ved planlægning og design af konstruktion

I forbindelse med projekteringen af byggeriet og valget af konstruktionsudformningen er det væsentligt at vurdere i hvilket omfang biologisk vækst på konstruktionen kan accepteres.

Valg af hensigtsmæssig konstruktionsudformning kan i væsentlig grad reducere omfanget af biologisk vækst, særligt på lodrette murværksflader.

En vigtig handlingsplan for undgåelse af biologisk vækst er derfor at indarbejde det som en fast del af planlægning/projektering af nyt byggeri, at der tages stilling til i hvilket omfang vækst kan accepteres.

Mulighederne for forebyggelse af vækst ved valg af tagudhæng, taghældning, tagventilation, fugeudformning, materialer og undgåelse af konstruktive defekter er beskrevet.

Forebyggelse ved opførelse/udførelse

Mulighederne for forebyggelse af vækst ved

- transport
 - fugeudformning
 - afsyring
 - forebyggende overfladebehandlinger
 - overfladebehandlinger generelt
- er beskrevet.

Forebyggelse i brugsfase/vedligeholdelsesfase

Mulighederne for forebyggelse af vækst ved

- vedligehold af fuger/omfugning
 - afrensning
 - vedligehold af overfladebehandlinger
 - vedligehold af omgivelser
- er beskrevet.

Betydning af forebyggelse for mulighederne ved nedrivning/genanvendelse

Der er kun få af de tiltag til forebyggelse af vækst, der er beskrevet i projektet, som vurderes at have væsentlig indflydelse på materialernes muligheder for genanvendelse efter nedrivning. De tiltag, der vurderes at have indflydelse, er

- tilsætning af biocider/giftstoffer ved produktion af materialerne
- brug af vandafvisende overfladebehandlinger.

Yderligere information

Udover indeværende hovedrapport sker afrapportering af projektets resultater ved følgende delrapporter:

1. Delrapport 1: "Kortlægning af midler og metoder"
Omfatter kortlægning af metoder til forebyggelse og bekæmpelse af biologisk vækst.
2. Delrapport 2: "Undersøgelser af forekomster"
Omhandler undersøgelser af forekomst af biologisk vækst, dens virkning på materialer samt betydningen af en række udvalgte materialeparametre og konstruktionsforhold.
3. Katalog: "Bevoksninger på murværk, tegl- og betontage".
Indeholder beskrivelser af de identificerede arter af vækst, farveillustrationer samt nøgler der kan anvendes til gruppering og identifikation af organismerne.
Kataloget er udarbejdet i samarbejde med Københavns Universitet, Botanisk Institut (ISBN 87-7944-792-9).
4. Delrapport 3: "Udvikling og afprøvning af testmetode"
Omhandler udvikling og afprøvning af testmetode der kan anvendes til test af metoder og midler til forebyggelse og bekæmpelse af biologisk vækst.

Growth on masonry, clay and concrete roofing tiles

Biological growth is normally unwanted on buildings, and different kinds of chemical agents are often used to remove the growth. This project shows that the agents used in practice proved to be efficient in combating biological growth.

The project has shown the types of growth commonly found on the materials and the importance of selected material properties and construction conditions. A laboratory method for evaluation of chemical agents and of materials has been developed and tested. The results have been used for a critical review of the possibilities to prevent or combat biological growth.

Better knowledge of materials and types of growth

Background and objective

The project has been carried out in order to obtain greater knowledge of the organisms and their preferred conditions of growth, in order to describe the possibilities for prevention of unwanted growth.

The laboratory method has been developed and tested in order to test agents and methods under controlled conditions and to provide a realistic picture of an agent or a method. This lowers the risk for overdosing or inexpedient use of chemical agents.

The main purpose of the project is to make a survey of biological growth on masonry materials, and clay-tiled and concrete roofs, with a view to determining the most suitable methods for prevention of biological growth.

General interest in the project

The investigation

The project has been carried out by The Danish Technological Institute as a co-operation between three centres: Concrete, Biotechnology, and Masonry.

The Danish Environmental Agency has funded the project, with supplementary funding from The Danish Technological Institute. Several producers of materials and cleaning agents, suppliers of agents, cleaning companies etc. have contributed with information, participated in the steering committee, and helped perform cleaning experiments etc.

The project is based on examples of growth found in Denmark during the progress of the project. No limits for conditions of exposure or age of materials and constructions were set.

Principal conclusions

In the project the importance of selected material properties has been investigated. Roughness porosity near the surface, pH, and nutrients carried from the surroundings have been considered as important for growth. The investigations indicate that the surface conditions of the material are to a high degree decisive for the extent and type of growth.

Important construction conditions have been identified. Choice of a suitable construction may significantly reduce the extent of biological growth. Investigations of the impact of the growth on the materials in general show no sign of damage that may influence the lifetime of the materials. Exceptions are, however, cases where growth may contribute to bad adherence and peeling of surface treatments, or where large moss cushions on roofs may present a risk for water intrusion.

The results of the project have provided better possibilities for evaluation of the necessity for cleaning. In situations without esthetical requirements, which make growth undesirable, cleaning can normally be omitted.

In connection with evaluation of specific agents or methods to prevent or combat biological growth, the laboratory method described in this project can be used. This is a test using a monoculture of green algae. The potential applications of the test are:

- Testing agents for combating or cleaning
- Testing agents for prevention of growth
- Testing the resistance of materials to the occurrence of growth

This biological test should always be combined with identification of important parameters of the materials, especially in connection with evaluation of prevention agents and evaluation of the natural resistance of materials to biological growths.

The possibilities for prevention of biological growth in the different phases of the life cycle of the materials have been described. The descriptions focus on clay bricks, clay roofing tiles, mortar, and concrete roofing tiles.

Results of the project.

Growth

The project has provided a profound knowledge of the types of organisms growing on masonry, clay-tiled and concrete roofs. A colour-coded catalogue has been prepared. This describes the species identified and includes keys for grouping and closer identification of the organisms.

26 species of lichens, 5 species of algae, 8 species of mosses and 3 species of fungi have been identified.

Parameters of materials

The investigations show that pH is important for the type of growth occurring on the materials. On clay bricks or roofing tiles where pH in the surface will fall during a short period there is a tendency for more rapid growth of green algae.

The roughness of the surface is important for how quick and how strong the growth on the materials will be. Roughness is also important for the type of species that grow on the materials.

The porosity of the materials, especially near the surface is considered important for biological growth.

The content of nutrients in the materials is generally considered as less important. In contrast, nutrients supplied by cleaning agents, preceding growth, biological deposits etc. are of major importance.

The humidification properties of the materials – the ability to absorb and release water, and the possibilities for water enclosures in the surface – are considered of great importance. However, the project could not identify a specific parameter of humidity as crucial for the possibilities of growth.

Of special interest are the evaporation tests, which show that water evaporates faster from materials with heavy growth than from materials with less growth.

Cleaning for growth / evaluation of effect and risks

The project has revealed the agents and methods, which at present are used in practice to clean biological growth.

Only one relevant active agent on the market has been approved for combating algae (fatty acid C8 – C18, main fraction decanoic acid). A laboratory test method has been developed in the project. This may, for example, be used to test the efficiency of agents. The method has been tested on this active agent. Furthermore, supplementary cleaning tests have been performed with this agent. These tests showed no satisfactory results on the materials investigated in this project.

During the project hot water cleaning was tested at two different pressures and temperatures. The tests showed that this method could remove the visible growth, but also that the surface of the materials was visibly damaged. This damage enhances the possibilities for new growth, and visible new growth could be detected as soon as 6 months after cleaning.

The investigations show the necessity of revealing the risks of a specific cleaning method before it is used. This should especially be seen in the light that the results of the project show that growth is often only an esthetical problem, and in general will not diminish the lifetime of the materials.

Possibilities for prevention of growth

Raw materials and production processes

The project has shown that not only the amount of growth is decisive for removal of the growth, but also, to a considerable extent, the homogeneity over the entire construction. An important plan of action in order to avoid biological growth is therefore to ensure a process that can minimize the variations of the important material parameters.

Possibilities to avoid or minimise growth by influencing pH, porosity, surface roughness, surface tension, humidification properties, nutrients, and poisons have been described.

In combination with investigations of technological properties of the materials, the test method mentioned earlier may be used for evaluation of the effect of changed parameters of materials.

Prevention by planning and design of constructions

In connection with planning a building and choice of construction it is essential to evaluate the degree to which biological growth can be accepted. Choice of a suitable construction may considerably reduce the amount of biological growth, especially on vertical masonry.

Therefore, as a part of planning a building, an important plan of action to avoid biological growth is to decide the extent to which growth can be accepted. The possibilities to prevent growth by choosing roof eaves, roof slopes, roof ventilation, types of joints, and materials, and avoiding construction defects have been described.

Prevention by construction

Possibilities to prevent growth by:

Transport
Jointing
Acidic cleaning
Surface treatment

have been described.

Prevention during use and maintenance

The possibilities to prevent growth by:

Maintaining joints
Repointing
Cleaning maintenance of surface treatment
Maintaining surroundings

have been described.

Importance of prevention for the possibilities of reutilization

Only a few of the actions for prevention of growth described in this project are considered vital for the possibilities to reuse the materials after demolition:

Addition of biocides or poisonous substances in the production of the materials.

Use of water repellent surface treatments.

Further information

The results of the project are described in this main report and in the following subreports:

1. Subreport 1: "Investigation of agents and methods". Reveals agents and methods to prevent and combat biological growth.
2. Subreport 2: "Investigations of occurrence". Describes investigations of occurrence of biological growth, its impact on materials and the importance of selected material parameters and construction conditions.

3. Catalogue: "Growth on masonry, clay-tiled and concrete roofs". Descriptions and colour illustrations of identified species, and keys for grouping and identification of organisms. This catalogue has been prepared in cooperation with University of Copenhagen, Institute of Botany (ISBN 87-7944-792-9).

4. Subreport 3: "Development and testing of a laboratory method". Describes the development and testing of a method, which can be used, to test methods and agents to prevent and combat biological growth.

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.

Diverse bekæmpelsesmidler og desinfektionsmidler anvendes hyppigt til fjernelse af biologisk vækst på murværk, beton og tage. Størstedelen af disse stoffer er ikke godkendt til at fjerne biologisk vækst, og det er derfor vigtigt at finde alternative muligheder til undgåelse og fjernelse af biologisk 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 bygningsfacader - 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.:
 - teglmursten
 - 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.

2 Formål

Projektets overordnede formål er at:

- kortlægge forekomster af biologisk vækst på murværksmaterialer, tegl- og betontage og på grundlag heraf bestemme de miljømæssigt bedst egnede metoder til forebyggelse af biologisk vækst

Formålet med projektfasen ”Kortlægning af midler og metoder” er at:

- kortlægge de i praksis anvendte metoder til forebyggelse og bekæmpelse af biologisk vækst
- kortlægge i hvilke sammenhænge midlerne/metoderne anvendes

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 rensedmidler/metoder

Formålet med projektfasen ”Udvikling og afprøvning af testmetode” er at:

- udvikle en laboratoriemetode til test af midler og metoder til forebyggelse og bekæmpelse af bevoksninger på murværk, tegl- og betontage, der kan vise virkningen dels på relevante typer af biologisk vækst, dels på relevante fysiske parametre hos materialerne

Formålet med projektfasen ”Oplæg til handlingsplaner” er at :

- vurdere mulighederne for forebyggelse af biologisk vækst i alle faser af materialernes livscyklusforløb.

3 Målgruppe

Projektet henvender sig til:

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

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.
- Kontakt til leverandører/producenter af rensedmidler, forebyggelsesmidler og murværksmaterialer samt udførende rensfirmaer, boligselskaber, byggemarkeder o.lign.
- Kontakt til standardiseringsgrupper.

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 Balschmidt. Assisterende professor Ulrik Søchting har bistået.

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.

4.8 Laboratorieprøvning

Der er foretaget en undersøgelse og katalogisering af hidtil anvendte metoder til undersøgelse af biociders effekt overfor forskellige relevante organismer der kan vokse på lyseksponerede flader. En metode beskrevet af Grant & Bravery (1981) er videreudviklet og standardiseret, så der nu foreligger laboriemetoder til test af materialer samt forebyggende og bekæmpende midler og produkter overfor grønalger, og metodernes egnethed er afprøvet i laboriet med 2 udvalgte rensmidler, et forebyggende produkt og på forskellige materialer.

4.9 Afrensingsforsøg

Der er lavet forsøg med hedvandsrensning af dels kalciumsilikatplader inficeret i laboratorium med alger dels af naturligt inficerede tegtagsten og betontagsten. Materialerne er derefter eksponeret på udendørs feltareal med henblik på at registrere mulig retablering af vækst.

4.10 Anden prøvning

En metode til kvalitetskontrol af algeafrensning er afprøvet. Der er foretaget orienterende forsøg med aftryksplader med forskellige specifikke dyrkningsmedier til henholdsvis svampe og alger, hvormed vækst eller mulighed for vækst kan registreres.

5 Lovgivning

5.1 Godkendelse af produkter/Miljølovgivning

5.1.1 Indledning

De kemiske midler, som anvendes for at slå biologisk vækst ihjel, betegnes som biocider. Biocider er en samlet betegnelse for forskellige stoffer og produkter, som er beregnet til at slå liv ihjel.

Biociderne inddeles i det såkaldte Biociddirektiv (Europa-parlamentets og Rådets Direktiv 98/8/EF af 16. februar 1998 om markedsføring af biocidholdige produkter) i 23 produktgrupper.

5.1.2 Lovgrundlag

For en fuldstændig gennemgang af lovgrundlaget henvises til Miljøstyrelsens hjemmeside www.mst.dk, hvor der bl.a. henvises til:

- Lov om kemiske stoffer og produkter, jf. lovbekendtgørelse nr. 21 af 16. januar 1996, som senest ændret ved lov nr. 256 af 12. april 2000.
- Europa-parlamentets og Rådets Direktiv 98/8/EF af 16. februar 1998 om markedsføring af biocidholdige produkter.
- bekendtgørelse nr. 241 af 27. april 1998 om bekæmpelsesmidler, som senest er ændret ved bekendtgørelse nr. 131 af 5. maj 2000.

5.1.3 Godkendelse af produkter

I Danmark har man i mange år haft en godkendelsesordning for en lang række af biociderne, herunder de kemiske stoffer og produkter som er bestemt til bekæmpelse af algevækst.

I Danmark gælder det, at kemiske stoffer og produkter, som er bestemt til bekæmpelse af algevækst, er godkendelsespligtige uanset aktivstoffet.

På Miljøstyrelsens hjemmeside findes listen over godkendte bekæmpelsesmidler, herunder godkendte midler mod algevækst.

Afgørende for om et produkt mod biologisk vækst på f.eks. murværk, tegl- og betontage skal godkendes efter ovenstående regler er:

- om det af etiket-teksten eller brugsanvisningen fremgår, at produktet er velegnet til at bekæmpe eller fjerne biologisk vækst.
- om det i øvrigt markedsføres som et produkt, der har disse egenskaber.

EU har vedtaget et direktiv, som betyder, at medlemslandene skal indføre fælles regler for vurdering og godkendelse af produkter, der indeholder biocider. Der er fastsat en overgangsperiode på 10 år (gældende fra 14. maj 2000), hvor de nationale ordninger kan fungere sideløbende med EU-reglerne. De aktive stoffer skal godkendes i EU, mens selve produkterne godkendes nationalt.

Ordningen omfatter alle nye stoffer men indebærer også, at alle biocidprodukter på markedet med eksisterende aktivstoffer skal vurderes i løbet af 10-årsperioden.

5.1.4 Produkter uden godkendelse

En række af de midler, der er nævnt i afsnit 8, er desinfektionsmidler eller rengøringsmidler.

Vaske- og rengøringsmidler er lovgivningsmæssigt omfattet af lov nr. 21 af 16. januar 1996 om kemiske stoffer og produkter og bekendtgørelse nr. 1065 af 30. november 2000 om klassificering, emballering, mærkning, salg, opbevaring af kemiske stoffer og produkter. Men der er endnu ingen godkendelsesordning for denne type kemiske stoffer og produkter med eksisterende aktivstoffer.

Desinfektionsmidler er som udgangspunkt kemiske produkter i lighed med vaske- og rengøringsmidler. Hvis desinfektionsmidler markedsføres til bekæmpelse af biologisk vækst er de godkendelsespligtige jf. afsnit 5.1.3.

Med indførelsen af EU's biociddirektiv skal andre midler, (herunder desinfektionsmidler) indenfor de 23 produkttyper dog også godkendes, men kun hvis de indeholder helt nye og hidtil ukendte aktivstoffer.

Midler med eksisterende aktivstoffer bliver derimod først godkendelsespligtige (eller forbudte) i takt med, at aktivstofferne er blevet revurderet og fundet egnede eller uegnede til optagelse på biociddirektivets positivliste.

Derfor findes der en række midler på markedet, som lovligt kan anvendes som desinfektions- eller rengøringsmidler, men hvor markedsføringen til bekæmpelse af biologisk vækst på murværk og tage ikke er lovlig.

5.2 Arbejdsmiljø

Følgende udgivelser er særligt relevante for arbejdsmiljøet ved rensning og forebyggelse:

- Bekendtgørelse nr. 540 af 2. september 1982 om stoffer og materialer
- Bekendtgørelse nr. 485 af 16. juni 1995 om stoffer og materialer - ændring
- Arbejdstilsynets anvisning nr. 3.1.0.1 September 1997: Leverandørbrugsanvisning og teknisk datablad for stoffer og materialer
- Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 301 af 13. maj 1993: Bekendtgørelse om fastlæggelse af kodenumre
- Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 302 af 13. maj 1993: Arbejde med kodenummererede produkter
- Arbejdstilsynets vejledning D.2.1 om sandblæsning, marts 2000.
- Bekendtgørelse nr. 292 af 26. april 2001 om arbejde med stoffer og materialer.

I henhold til bekendtgørelse nr. 485 har en leverandør pligt til at forsyne et stof eller materiale med en brugsanvisning. Bekendtgørelsen beskriver, hvad brugsanvisningen skal indeholde.

Stoffer eller materialer, der kan være farlige eller i øvrigt forringe sikkerhed eller sundhed, skal anmeldes og påføres et produktregistreringsnummer.

Udvendigt malerarbejde, grunding og imprægnering samt klargøring til dette arbejde er omfattet af At-bekendtgørelse nr. 302, og produkter anvendt i forbindelse med dette arbejde skal således påføres et kodenummer.

Iht. **302, §11**: Et produkt må ikke anvendes, hvis produktet i brugsklar stand har højere tal i kodenummeret end det i bilag 2 er angivet for den pågældende arbejdsproces.

Af bilag 2 fremgår det, at det højest tilladelige kodenummer for udvendigt arbejde på facader og tagbeklædning (mineralsk) for maling er 2-, dog ved grunding eller imprægnering 3-.

§12: Et produkt må ikke anvendes, hvis det til den påtænkte anvendelse kan erstattes af et ufarligt, mindre farligt eller mindre generende produkt. Der skal derfor normalt anvendes et produkt med lavest muligt kodenummer i brugsklar stand.

stk. 2:

Når brugen af et erstatningsprodukt vil medføre ikke uvæsentlige forskelle i tekniske egenskaber eller udgifter, skal der foretages en samlet afvejning af tekniske og økonomiske konsekvenser overfor de sikkerheds- og sundhedsmæssige hensyn.

stk. 3:

Virksomhedens sikkerhedsorganisation skal inddrages i vurderingen af, om erstatningen kan foretages.

NB.: Produkter med kodenr. større end 2 vil normalt ikke være tilladt anvendt på bygninger men kun på store konstruktioner som broer og lignende.

Anvendelse af desinfektionsmidler og rengøringsmidler til murværk og tage er ikke umiddelbart omfattet af bekendtgørelsen. I det omfang hvor der anvendes mekaniske afrensingsmetoder kan skemaerne om sikkerhedsforanstaltninger ved klargøringsarbejde mod støv og afbrændingsprodukter dog anvendes.

Det skal for en god ordens skyld understreges, at asbestholdige eternittage ikke er omfattet af projektet, og at de anførte mekaniske metoder til rensning af tegl og betontage ikke må anvendes til asbestholdige eternittage.

6 Kortlægning af midler og metoder

Kortlægning af de i praksis anvendte metoder til bekæmpelse af biologisk vækst

Kortlægning har vist, at der anvendes en lang række forskellige kemiske midler til rensning af biologisk vækst på murværk, tegl- og betontage.

I delrapporten: "Kortlægning af midler og metoder" er der

- listet de eksisterende kemiske midler på markedet, som er konstateret anvendt eller foreslået anvendt til bekæmpelse af biologisk vækst.
- listet metoder anvendt til bekæmpelse af biologisk vækst (overordnede principper, ikke detaljerede arbejdsgange)
- givet eksempler på midler, på markedet til forebyggelse af biologisk vækst.
- oplyst, om anførte midler/metoder kan anvendes i overensstemmelse med gældende lovgivning.

De kemiske midler kan inddrages i følgende hovedgrupper:

- midler indeholdende kvaternære ammoniumforbindelser
- midler indeholdende hypochlorit
- midler indeholdende organiske fedtsyrer og sæber (salte af organiske fedtsyrer)
- midler indeholdende uorganiske eller organiske syrer
- midler indeholdende uorganiske baser
- diverse andre midler

Kortlægningen har bekræftet, at en lang række af de mest anvendte midler ikke kan anvendes i overensstemmelse med gældende miljølovgivning. Det enkelte middel, der er godkendt til bekæmpelse af alger, er forholdsvis uafprøvet af murværks- og betonbranchen.

Af mekaniske metoder ses følgende metoder anvendt:

- blæserensning, våd
- blæserensning, lavtryk
- højstryksrensning 250-700 bar
- højtryksspuling
- højtryksspuling med varmt vand/hedvandsrensning/damprensning
- udkradsning af fuger, børstning med stålborste o.lign.

Af de mekaniske metoder er det særligt hedvandsrensning og lavtrykblæserensning som anvendes. De mekaniske metoder anvendes ofte i kombination med et af de kemiske midler.

Kortlægning af i hvilke sammenhænge midlerne/metoderne anvendes

For de kemiske midler gælder, at de med enkelte undtagelser generelt anvendes på samtlige materiale- og konstruktionstyper omfattet af projektet.

De kemiske midler anvendes af både private husejere, boligselskaber og firmaer. Rensefirmaer anvender ofte en kombination af kemisk middel og mekanisk metode.

For de mekaniske metoder gælder, at de primært anvendes af rensfirmaer, dog findes der også mindre højtryksrensere til privat brug. Forskellige former for højtryksmetoder er set anvendt på samtlige materiale- og konstruktionstyper omfattet af projektet. Blæsemetoder ses kun anvendt på murværkskonstruktioner og ikke på tage.

Kortlægningen viser, at afrensning af biologisk vækst i overvejende grad udføres af æstetiske grunde dog ofte med den tilføjelse, at man forventer, at der kan komme skader hvis væksten får lov at blive. Dernæst udføres rensningerne ofte som led i forbehandlingen inden anden overfladebehandling (kalkning, maling, påføring af graffiti beskyttelse og lignende).

Anvendte mængder til bekæmpelse af biologisk vækst

Det har vist sig vanskeligt at kortlægge mængderne af de kemiske midler. Producenterne har i stor udstrækning ikke ønsket at bidrage med oplysninger om mængder. De fleste producenter er bekendt med, at produkterne ikke må markedsføres som bekæmpelsesmiddel mod biologisk vækst og har udtrykt utryghed ved at oplyse salgstal for produkter, der i praksis ofte bliver anvendt i uoverensstemmelse med lovgivningen.

Selv når producenterne har oplyst mængder, har det været vanskeligt at udskille hvor stor en andel af de solgte mængder, der er blevet anvendt netop til bekæmpelse af biologisk vækst på murværk, tegl- og betontage.

Kortlægning af de i praksis anvendte midler og metoder til forebyggelse af biologisk vækst

Midler og metoder med påstået forebyggende effekt anvendes generelt kun af firmaer og ikke af privatpersoner.

Midlerne til forebyggelse kan inddeles i følgende hovedgrupper:

- imprægneringsmidler
- forseglingsmidler
- maling

Det er især imprægneringsmidler, der bliver anvendt. Der skelnes imellem følgende typer af imprægneringsmidler:

- monosilantype
- oligomersilantype
- siloxantype
- siliconeharpikstype

Rensfirmaer anbefaler typisk en imprægnering af lodret murværk efter afrensning af biologisk vækst. Imprægnering af tage er tilsyneladende også ved at blive mere almindeligt.

Forsegling af murværk og tage ses kun anvendt i praksis i mindre udstrækning. En del af de listede produkter er forholdsvis nye på markedet og erfaringerne hermed derfor begrænsede.

Maling anvendes ikke i praksis med det formål at forebygge biologisk vækst. Forebyggelse mod biologisk vækst er dog ønsket ved maling, fordi malingslaget kan skades af den biologiske vækst. Disse forhold undersøges nærmere i projektfasen "Undersøgelser af forekomster". Mange malinger indeholder derfor komponenter, der forebygger biologisk vækst.

De typer af maling, der markedsføres med en effekt overfor biologisk vækst, er

- tilsat et biocid
- og/eller
- tilsat komponenter, der påvirker konstruktionens fugtforhold, ofte i form af samme forbindelser som imprægneringsmidler.

Værdien af kortlægningsfasen for projektets videre forløb

Kortlægningen har:

- skabt overblik over eksisterende erfaringsgrundlag mht. midler og metoder til bekæmpelse og forebyggelse. Dette overblik er en væsentlig forudsætning for at kunne lave oplæg til handlingsplaner for renere teknologiløsninger, som er projektets endelige mål.
- bekræftet et behov for at dokumentere hvornår vækst kan forårsage skader. Dette omfattes af projektets senere faser.
- afsløret en uvished hos brugerne om, hvorvidt de mekaniske metoder i nogle situationer er tilstrækkelige uden kombination af kemisk middel. Denne uvished resulterer i, at de fleste professionelle firmaer kombinerer de mekaniske metoder med et kemisk bekæmpelsesmiddel. Dette bekræfter behovet for udvikling af en metode til test af midler og metoder til bekæmpelse og forebyggelse af biologisk vækst.

Mange af de i dag anvendte midler, som ikke kan anvendes i overensstemmelse med miljølovgivningen, udmærker sig ved at være forholdsvis nemme at anvende og ved ikke at være særligt udstyrskrævende. Midlerne markedsføres som værende hurtigt virkende mod væksten, om end denne effekt ikke vurderes at være langvarig. For at evt. kommende forslag til renere teknologiløsninger kan slå igennem i praksis må disse kriterier også forsøges opfyldt.

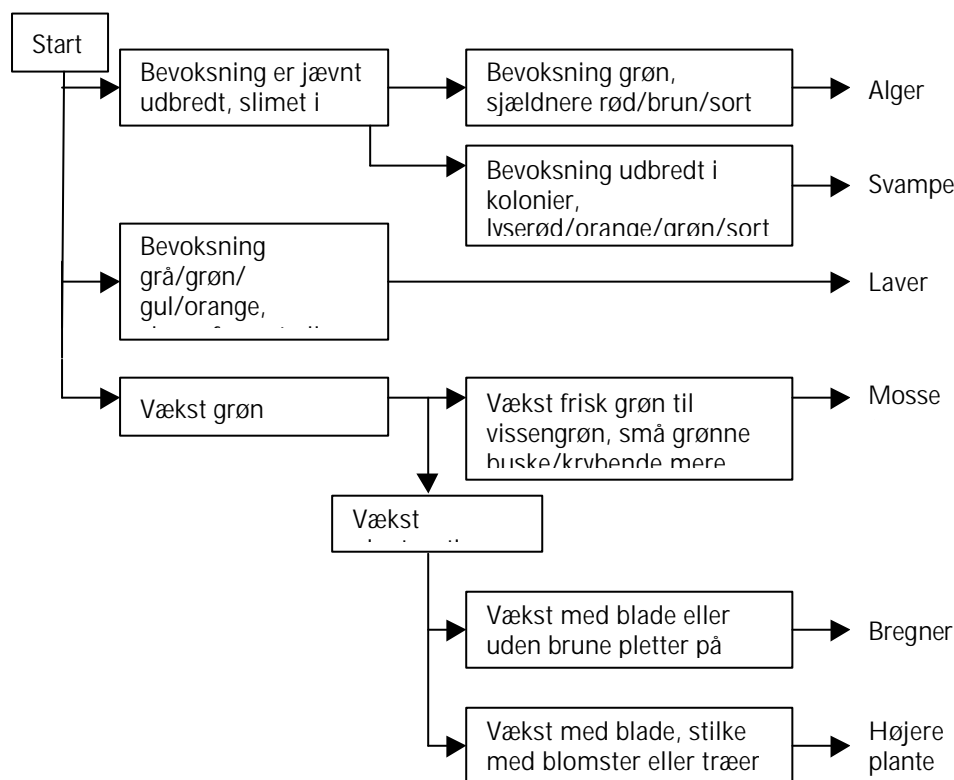
7 Biologisk vækst

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 til gruppering af væksterne som rutediagram

7.1.1 Bakterier

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. Bakteribelægninger er ikke synlige. (Bakterier er ikke medtaget i nøgle og er ikke illustreret).

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 fællestræk 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 belægnings. Algebelægnings kan dog også være rødlige til brunsorte.



Figur 7.2: Tegl tagsten med grøn algevekst

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: Pudset og malet facademurværk med svampevekst

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: Tegltagsten med lavvækst

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: Murværk med mosvækst i fuger.

7.1.6 Andre sporeplanter

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

(Andre sporeplanter er ikke medtaget i nøgle og er ikke illustreret).

7.1.7 Højere planter

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.

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

7.2 Typer af vækst

Projektet har givet et grundigt kendskab til hvilke organismer, der bevokser murværk, tegl og betontagsten.

Der er udarbejdet et farvekatalog, der beskriver de identificerede arter. Derudover indeholder kataloget nøgler, der kan anvendes til identifikation af organismerne.

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.

Projektet har som tidligere beskrevet taget udgangspunkt i de eksempler på vækst, der er fundet i projektforløbet. 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 projektforløbet 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.

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 (organismer 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 (organismen vokser oven på 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 bevokser 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

7.3 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.

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 karakteristik og deres indbyrdes påvirkninger er også vigtige.

8 Materialer og materialeegenskaber

8.1 Materialer

Projektet omfatter følgende materialer:

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

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

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

8.2 Materialeegenskaber

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

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

8.3 pH

Vurdering af pH

pH er vurderet på flere måder i projektet:

- ved måling på en 10% vandig opslemning af formålet 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 karbonatiseret. Derefter vil karbonatiseringshastigheden falde væsentligt.

Granit/gnejs

pH i granit/gnejs er ikke målt i projektet.

8.4 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 blødstrøgne	1800-1900
	Røde maskinsten	1800-2000
	Gule blødstrøgne	1700-1800
	Gule maskinsten	1700-1800
Betontagsten		2100-2200
Kalksandsten		1700-1800
Muremørtel		1800-2030
Granit/Gnejs		2530-2780

8.5 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 blødstrøgne	10,8-11,9
	Røde maskinsten	10,5-11,6
	Gule blødstrøgne	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 vandspejlet.

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

Tabel 6.3: Typiske niveauer for minutsugning

Materialer:		Typisk niveau, kg/m ²
Teglsten	Røde blødstrøgne	1,4-3,0
	Røde maskinsten	0,9-3,2
	Gule blødstrøgne	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. Betegnelsen er dog lidt misvisende, da laget opstår under formgivningen. Fjernes denne brandhud, ændres stenedens udseende og overfladeruheid. Undersøgelser har dog vist, at stenedens egenskaber mht. vandoptagelse og minutsug for nye sten ikke ændres herved.

8.6 Fordampningshastighed

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

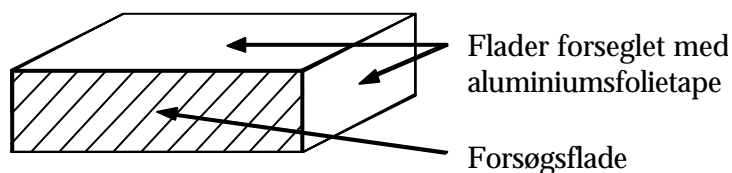
Metoden gennemføres på følgende vis:

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 luftfugtighed 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.

8.7 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.

8.8 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.

8.9 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.

9 Materialeegenskaberens betydning for vækst

9.1 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 organismene 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 hyppigt i mørtelfuger, ofte med udspring i fin revne mellem sten og fuge. 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 udspringer ofte fra mørtelfugerne, hvorfra de spreder sig udover byggestenene.

Svampe er identificeret på pudset 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.

9.2 Undersøgte materialeparametre

9.2.1 Indledning

Følgende materialeparametre er undersøgt:

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

9.2.2 pH

Undersøgelserne viser, at pH har betydning for arten af vækst der forekommer på materialerne. Dog er der arter, der trives i så bredt et pH interval, at de kan optræde på flere materialetyper.

Undersøgelsen tyder ligeledes på, at pH måske kan have indflydelse på hvor hurtigt der vokser grønalger på materialerne. Der ses en svag tendens til at teglmateriale med relativt lavt pH i overfladen hurtigere vokser til med grønalger end teglmateriale med højere pH. Der ses en tendens til at det særligt gælder teglsten hvor pH i overfladen relativt hurtigt falder i forhold til pH længere inde i materialet.

De fleste af de identificerede lavararter findes på materialer med pH over ca. 9. Ved pH højere end 9 er laverne typisk den dominerende vækststart.

Detaljerede resultater af de foretagne undersøgelser af pH er afrapporteret i delrapporten: "Undersøgelser af forekomster".

9.2.3 Densitet og vandoptagelse

En evt. relation mellem hhv. vandoptagelse og vækst og densitet og vækst er undersøgt for en række tagsten. Densitet og vandoptagelse har ingen entydig indflydelse på forekomst af vækst.

9.2.4 Fordampningshastighed

For tegltagsten 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 ud fra 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.

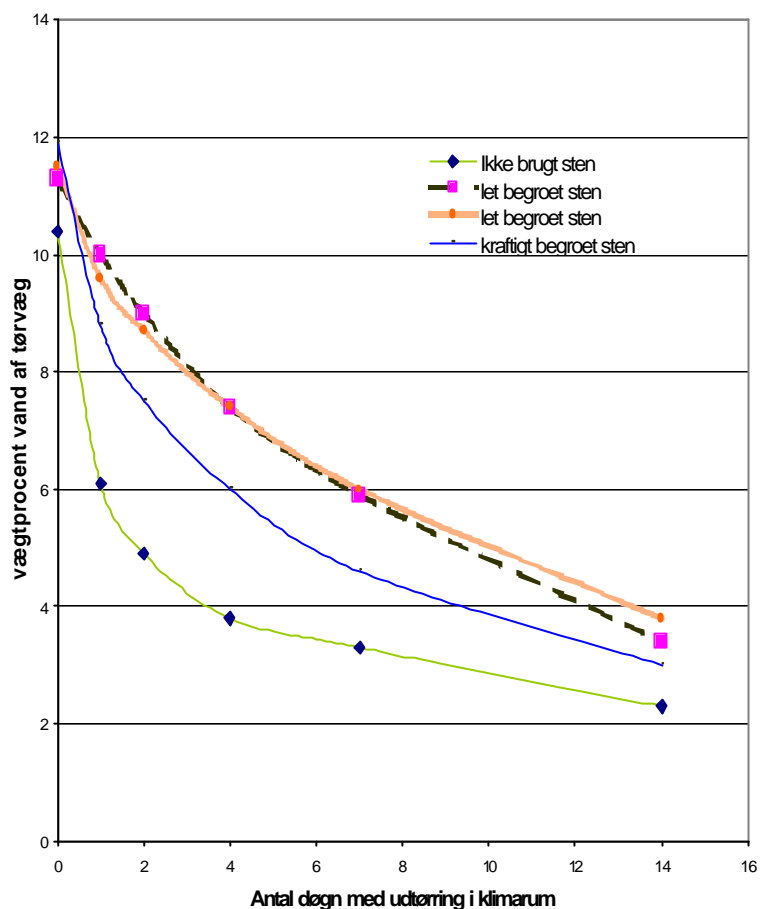
Følgende sammenlignende bestemmelser af fordampningshastigheden har overraskende vist, at sten med kraftig vækst har højere fordampningshastighed end sten med svag vækst. Undersøgelserne har alene omfattet sten med vækst af alger og lav.

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

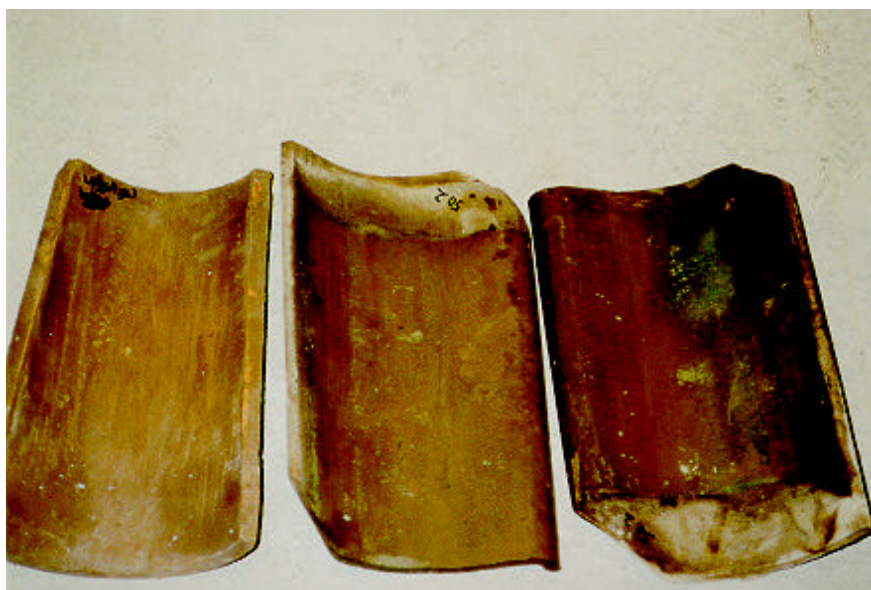
I delrapporten "Undersøgelser af forekomster" findes en detaljeret afrapportering af forsøgene. I det følgende er der blot givet et par eksempler på resultater:

Der er gennemført en undersøgelse af ændringen af fordampningshastighed, med en ubrugt sten, 2 let begroede sten og en kraftigere begroet sten fra samme tagflade.

Følgende figur 9.1 viser forskellen i fordampningshastighed mellem disse sten:



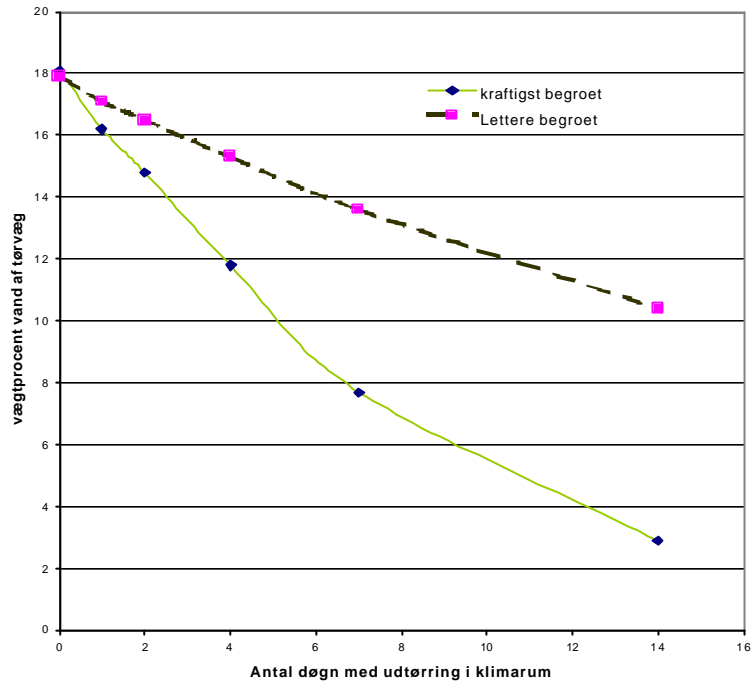
Figur 9.1: Tegltagsten, mangan, algebegroning, 18 år



Figur 9.2: Tegltagsten anvendt til ovenstående fordampningsforsøg. Stenen længst til højre blev inden forsøget delt i 2 dele: en let begroet del og en kraftigt begroet del.

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 viser, at stenen med mest algevækst har den hurtigste fordampning af vand.

Følgende kurver viser tilsvarende sammenligninger af parvist udvalgte sten. Figur 9.3 viser forskellen på fordampningshastighed for 2 gule tegltagsten med forskelligt omfang af begroning.



Figur 9.3 Tegl tagsten, gule, primært lavvækst + lidt alger, 44 år

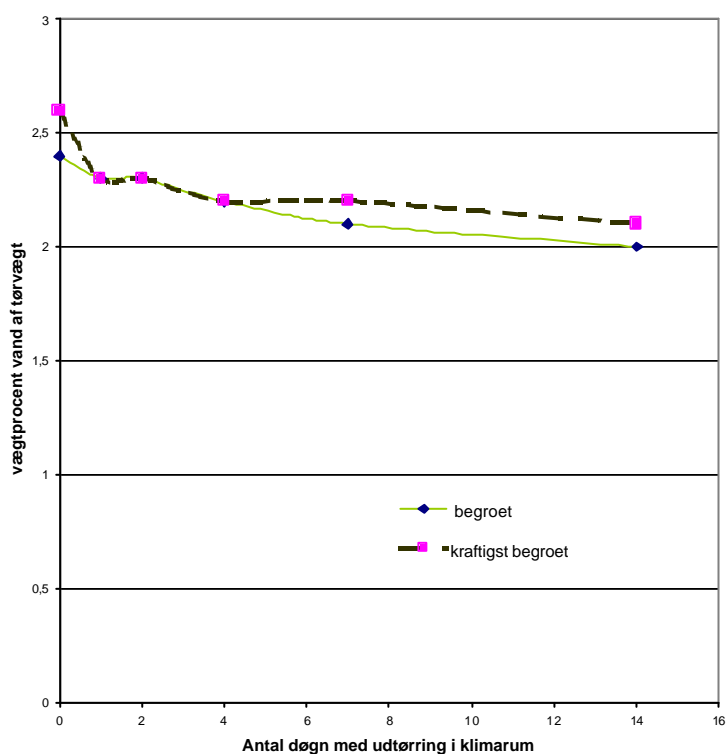


Figur 9.4: Tegltagsten anvendt til ovenstående fordamningsforsøg. Stenen til højre er kraftigst begroet.

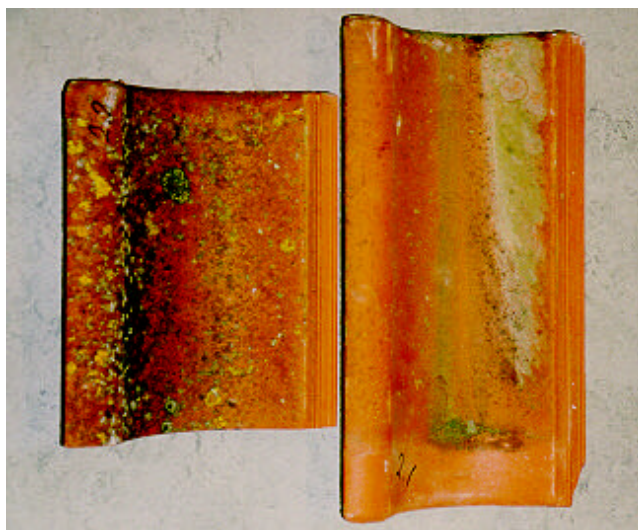
Igen ses hurtigst vandfordampning fra sten med mest vækst.

Fordampning fra betontagsten

Figur 9.5 viser forskellen på fordampningshastighed af 2 betontagsten med forskellig grad af begroning.



Figur 9.5: Betontagsten, røde, 7 år



Figur 9.6: Betontagsten anvendt til ovenstående fordampningsforsøg.

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

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.

9.2.5 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.

9.2.6 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.

9.2.7 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.

10 Områdeundersøgelse

10.1 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.

10.2 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

10.3 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.

10.4 Resultat af områdeundersøgelse

Resultaterne af områdeundersøgelsen er detaljeret beskrevet i delrapporten: "Undersøgelser af forekomster". Områdeundersøgelsen har i høj grad medvirket til at give overblik over forekomst af arter på materialerne og placering på forskellige konstruktionsdele. Derudover har områdeundersøgelsen bidraget til overblik over betydningen af konstruktionsudformning. Konklusioner på baggrund af områdeundersøgelsen er indarbejdet i indeværende rapport's konklusioner vedr. materialeparametre og konstruktionsforhold.

11 Konstruktionsforholds betydning for vækst

11.1 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.

11.2 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 skadestoffer 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.

11.3 Tagudhæng

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

11.4 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.

11.5 Undertag/tagventilation

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 nylonkumstrimler 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 11.1: Tegltag K21 tagsten - med mosvækst i overlap

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

11.6 Fugtspærring/opsprøjt

Øget fugt i den nederste del af murværket er ofte set give anledning til øget vækst i 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 11.2: Øget algevækst på kalket kirke forårsaget af opstigende grundfugt.



Figur 11.3: Øget algevækst nederst på en fritstående teglstensmur sandsynligvis forårsaget af en kombination af opstigende grundfugt og opsprøjt.

11.7 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:

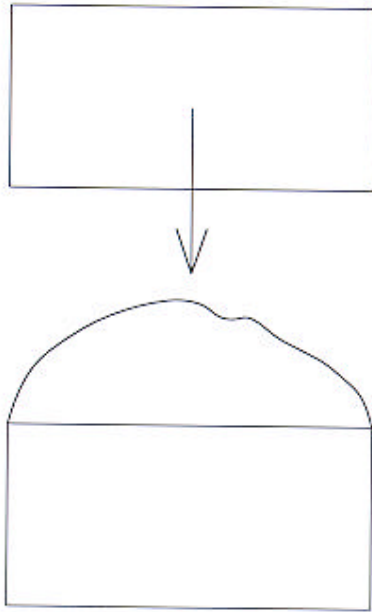


Figur 11.4: Vækst forårsaget af utæt løskant

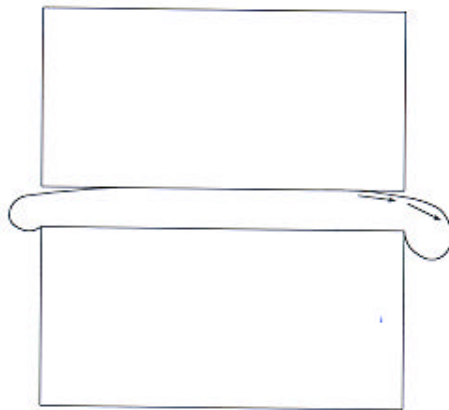
11.8 Fugeudformning

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.

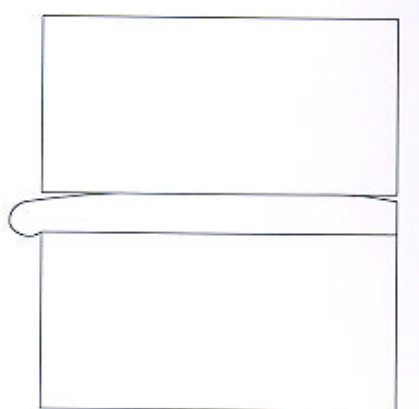
Sådanne revner i liggefugens overkant opstår naturligt i forbindelse med murerarbejdet, idet mørtlen under lægning af murstenen presses nedad og udad i samme bevægelse. Normalt udbedres disse revner under færdiggørelsen, dvs. udkradsning og efterfugning eller trykning af fugerne. I de senere år har trykning 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 11.5: Mørtel på nederste sten, øverste sten ikke anbragt endnu



Figur 11.6: Ved lægning af mursten presses mørtlen udad



Figur 11.7: Overskydende mørtel er fjernet i forsiden. Revnen mellem øverste sten og mørtel skal udbedres ved udkradsning og efterfugning eller ved trykning af fugerne.

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

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

11.9 Mørtelkvalitet

Mørtel skal leve op til en række kvalitetskrav:

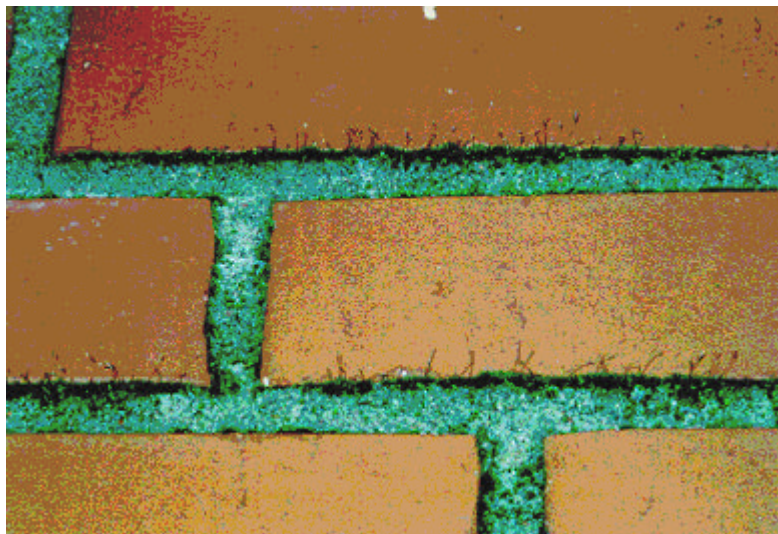
- Den skal have den nødvendige styrke af hensyn til konstruktionens statiske krav mv.
- Den skal kunne modstå vejrliget inkl. frost i det aktuelle miljø (aggressivt, moderat, passivt)
- Den skal have det ønskede udseende (farve, struktur, fugeudformning).

Dette sikres ved korrekt 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 11.8: 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 11.9: Gul t teglstensmurværk med lavvækst i fuger der spreder sig ud over murstenene.

12 Skadestyper

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
- delaminering
- smuldring
- revnedannelser dels i selve materialet dels mellem to forskellige materialer som eksempler på skader forårsaget af bionedbrydning.

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 delrapporten "Undersøgelser af forekomster" er der redegjort for såvel 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 kan man dog finde mange artikler, hvori det konkluderes, 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 nogle vækster 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 biologisk 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 evt. kan bevirke indtrængning af vand ved opstemning af vand eller evt. løft af stenene.

Ændret fugtafgivelse

Den gængse holdning til biologisk vækst er, 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 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.

Betydning for overfladebehandlinger

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

I følgende figur 12.1 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 12.1: Pudset , kalket murværk med afskalninger

Figur 12.2 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 12.2: Kalket murværk med algevækst bag yderste kalklag.

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

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 Rensemidler/metoder

13.1 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.

13.2 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: "Udvikling og afprøvning af testmetoder". Der blev gennemført forsøg dels med afrensning af kalciumsilikatplader inficeret i laboratorium med alger, dels med afrensning af naturligt inficerede tegltagsten og betontagsten.

På teglstenene blev der derudover 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.

13.3 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.

13.4 Kemiske midler

I forbindelse med kortlægningsrapporten blev det konstateret, at der pt. kun er 1 relevant godkendt aktivstof på markedet (fedtsyre C8-C18, hovedfraktion decansyre).

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

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

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

Forsøgene har ikke vist tilfredsstillende effekt på de i projektet undersøgte materialer.

13.5 Damprensning/Microclean afrensning

Der er udviklet en metode til reovering af skimmelsvamp med såkaldt tørdamp. Metoden baserer sig på denaturering og afrensning af skimmelsvampevækst 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. Metoden er nærmere beskrevet i delrapporten: "Undersøgelser af forekomster". Det skal bemærkes, at metoden ikke er afprøvet i denne sammenhæng.

13.6 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.

13.7 Risici for skader på materialer ved afrensning

Projektets undersøgelser viser, at det er væsentligt ved vurdering af om der skal gennemføres afrensning også at vurdere risici for skade på materialerne ved den påtænkte rensning. Dette skal særligt ses i lyset af, at projektets resultater viser, at vækst ofte kun er et æstetisk problem og generelt ikke giver anledning til forkortelse af materialernes konstruktive levetid.

For de enkelte behandlinger skal følgende punkter som et minimum vurderes:

- 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 mekaniske afrensning, f.eks. højtryksrensning efterlader en mere ru overflade, end der oprindeligt var, vil der 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.

Ved mekaniske afrensninger, der kun udføres partielt på f.eks. en murflade, bør det undersøges, om metoden efterlader uønskede forskelle i udseendet af overfladen, og om disse har betydning for materialets/konstruktionens holdbarhed?

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, hvilket er ensbetydende med et langt vedligeholdelsesinterval. Man kan godt forestille sig, at hyppig gentagen behandling med et middel eller en rensemetode kan accelerere eventuelle skader.

- Giver midlet/metoden anledning til kemiske ændringer af overfladen?

Det er vigtigt at undersøge, om et kemisk middel indeholder kemiske bestanddele, der kan reagere med byggematerialerne og danne krystalliserende salte med forvitring til følge? Det bør også undersøges, om midlet kan give anledning til uønskede misfarvninger.

- Giver afrensningsmetoden mulighed for spredning af bevoksningerne?

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.

13.8 anbefalinger

På baggrund af ovenstående afsnit må det konkluderes, at der ikke i dag er nogen nem universalløsning at anbefale, når det gælder afrensning af biologisk vækst.

Den overordnede anbefaling må være at:

undgå afrensning, ved i videst muligt omfang at forebygge uønsket vækst og i højere grad acceptere at byggematerialer ofte vil blive bevoksede i større eller mindre grad.

I de tilfælde hvor afrensning ønskes gennemført kan følgende anbefalinger gives:

1. *Indledningsvis bør der foretages en undersøgelse af den aktuelle konstruktion med henblik på at identificere årsagen til vækst. Hvis årsagen identificeres og forholdene ændres kan mulighederne for ny vækst efter afrensning mindskes. Herved kan man reducere hyppigheden af fremtidige afrensninger og dermed reducere skader på materialerne som følge af afrensning.*

Der kan være f.eks. være tale om defekter der giver anledning til øget fugt. Disse bør identificeres og udbedres. Bevoksning i omgivelser skal vurderes og evt. beskæres, således at skyggetid og aflejring af pollen mv. fremover

minimeres. Det bør overvejes, om der skal laves ændringer på konstruktionen for at minimere fremtidig vækst (f.eks. bedre tagudhæng eller lignende.).

2. Ved kraftige mospuder på tage i overlap mellem sten: *Håndplukning eller blid afbørstning.*
3. Ved mos i fuger: *Udkradsning og omfugning.*
4. Ved alge- eller lavvækst på tage eller murværk: *Spuling med vand ved lavest mulige tryk.*
Der bør altid indledes med et rensforsøg for at fastlægge mest skånsomme afrensning. Man skal være opmærksom på, at væksten sandsynligvis kun kan fjernes delvist og kan blive spredt yderligere ved afrensningen. Hvis afrensningen beskadiger overfladen (hvilket selv relativt lave tryk ofte vil gøre), kan den nye overfladestruktur give større muligheder for ny vækst. Laver sidder væsentligt bedre fast end alger, og særligt ved afrensning af ældre lavbevoksninger vil der ofte kræves så højt tryk, at beskadigelse af overfladen ikke kan undgås. Afrensning kan dermed være starten på en ond cirkel, hvor afrensning medfører mere vækst og dermed hurtigere behov for ny afrensning.

Der vurderes at være behov for udvikling af et miljøvenligt kemisk middel, der kan godkendes til bekæmpelse af vækst i de tilfælde hvor:

1. murværk skal afrenses inden ny overfladebehandling med kalk, maling eller lignende.
2. der er konkrete ønsker til æstetisk udseende, der nødvendiggør afrensning. Ved mekanisk afrensning og især ved afrensning af ældre lavbevoksninger vil der være stor risiko for beskadigelse af overfladen.

14 Udvikling og afprøvning af testmetode

14.1 Udvikling af testmetode

Det er ønskeligt, at der findes metoder til dokumentation af midlers bekæmpende/forebyggende/rensende effekt overfor bevoksninger samt at forskellige materials naturlige modstandsdygtighed overfor etablering af bevoksning kan testes.

Der er foretaget en grundig undersøgelse af, hvilke relevante testmetoder, der findes beskrevet og afprøvet. Egentlige standarder findes ikke, men der er flere steder i Danmark og udlandet gennemført ad hoc prøvninger og forsøg, som dels er beskrevet i litteraturen og dels i kommercielle rapporter. Disse informationer er samlet og kategoriseret i et review, se delrapport "Testmetoder", bilag 1. De enkelte metoder findes ikke beskrevet tilstrækkelig grundigt i kildematerialet til, at de uden videre kan anvendes som standarder. Men informationerne kan anvendes som et idekatalog ved valg og videreudvikling af testmetoder. I projektet er der således arbejdet med videreudvikling og afprøvning af en laboratoriemetode, som på grundlag af projektarbejdet er beskrevet i sædvanlig prøvningsstandard format. Den detaljerede metodebeskrivelse for ovennævnte testmetode findes i delrapporten "Udvikling og afprøvning af testmetoder", bilag 2.

Udgangspunktet har været en metode beskrevet af Grand & Bravery (1981). Metoden er blevet videreudviklet på nogle punkter, så den bl.a. kan dække flere prøvningsformål, og forenklet på andre, bl.a. ved at der er valgt en monokultur af grønalger i stedet for blandingskulturer.

Ud fra Teknologisk Instituts kendskab til prøvning og de informationer om forekomst af bevoksninger, materialeegenskaber med videre, der er fremkommet i projektforløbet er der foretaget valg af primær testorganisme nemlig grønalgen *Stichococcus bacillaris* Nägeli, som er meget almindelig udbredt og let at dyrke og opformere i laboratorium. Faciliteter til dyrkning af alger er etableret. En række forhold omkring optimering af dyrkningsbetingelser er undersøgt og afprøvet. Herunder pH's indflydelse på alger og vice versa. Herved er det konstateret, at algen trives bedst ved pH over 7, og at der foregår en vekslende påvirkning af pH i mediet bl.a. afhængig af tid og næringsindhold i mediet.

Der er afprøvet forskellige relevante testmaterialer, teglmursten, betonfliser og en cellulosefiberarmeret kalciumsilikatplade som underlag for algevækst. Materialets overfladestruktur og porøsitet har stor betydning for vækstens udvikling generelt, og materialefarven har betydning for, hvor sikkert den visuelle registrering kan gennemføres. Med de erfaringer, der er draget ud fra de gennemførte forsøg foreslås en cellulosefiberarmeret kalciumsilikatplade som det primære testmateriale. På dette materiale kan alger dyrkes ensartet og repeterbart under konstante laboratorieforhold, og væksten er synlig og

dermed let at registrere visuelt. Såvel prøvningsmetode som dyrkningsfaciliteter er afprøvet og fungerer iht. det beskrevne.

14.2 Afprøvning af testmetode

Med henblik på at afprøve testmetodens duelighed til forskellige formål og eventuelt foretage yderligere tilpasning af metodebeskrivelsen er der foretaget begrænset prøvning af udvalgte midler, produkter og materialer.

Afprøvningsne bør derfor primært betragtes som en test af metoden og ikke som en afprøvning af de specifikke midler, produkter og materialer. Metodens egnethed er testet med henblik på at dække følgende formål:

- Prøvning af midler til bekæmpelse eller rensning af murværk, tegl- og betontage
- Prøvning af midler til forebyggelse af etablering af bevoksninger
- Prøvning af materialers modstandsdygtighed overfor etablering af bevoksninger.

To udvalgte rensmidler er afprøvet efter producentens anvisninger. Forsøget har vist, at det kan lade sig gøre at producere ensartede resultater i parallelle emner, og at det kan lade sig gøre at dokumentere forskelle mellem forskellige produkter.

Der er foretaget en mindre afprøvning af en hydrofobierende imprægnering. Formålet med afprøvningen var at teste om metoden kan påvise forskelle i vækst når en afgørende materialeparameter påvirkes. Ved afprøvningen er de behandlede prøveplader ikke blevet udsat for relevant ældning efter behandling. Afprøvningen kan derfor kun betragtes som en test af metoden og ikke som en afprøvning af det specifikke middel. Ved afprøvning af specifikke produkter til forebyggelse af biologisk vækst skal det understreges, at det er væsentligt at materialerne efter behandling med midlet udsættes for en relevant accelereret ældning. Dette er nærmere beskrevet i delrapporten: "Udvikling og afprøvning af testmetode".

Der er anvendt forskellige ubehandlede materialer som "kontrol" i prøvningen af rensmidler og på den måde er det demonstreret dels at det valgte basismateriale - cellulosefiberarmeret kalciumsilikatplade - er et godt testmateriale som giver kraftig vækst på relativ kort tid efter podning, men også at der er forskel på, hvor hurtigt og hvor kraftigt andre materialer bliver begroet. Laboratoriemetoden skønnes derfor egnet til indledende prøvning f.eks. i forbindelse med udvikling af produktparametre, der vedrører materialeoverfladen.

14.3 Kvalitetskontrol af afrensning

Ovennævnte forsøg leder naturligt tanken hen på muligheder for in situ afprøvning og kvalitetskontrol af afrensning i praksis. Med udgangspunkt i metoder til undersøgelse af skimmelforekomst på indvendige overflader er der foretaget nogle mindre forsøg med brug af aftryksplader og mycometermetode.

Aftryksplader indeholder et specifikt dyrkningsmedium, hvorpå man kan dyrke de organismer, der afsættes i form af sporer eller mikrodele på pladen, når den trykkes med en overflade, hvor der er bevoksning på. Hvis medium

og dyrkningsforhold er rigtig for organismerne kan man på denne måde undersøge, om der er vækst eller mulighed for vækst også selvom det ikke umiddelbart er synligt på materialet. Ved mycometermetoden registreres vækst direkte ved en enzymatisk reaktion specifik for skimmelsvampe.

Både aftryksplader og mycometermetode er afprøvet i et mindre forsøg med kemisk afrensning af algebevokset murværk og betonsålbænk med blandet bevoksning af alger, skimmelsvampe og laver. Aftryksplader blev anvendt i forbindelse med et forsøg med hedvandsrensning af algebevoksede materialer. Forsøgene har vist, at aftryksplader med specifikt alge- eller svampemedium tilsyneladende kan anvendes til kvalitetskontrol af afrensning af plane overflader bevoksede med alger eller skimmelsvampe. Metoden vil også kunne anvendes i laboratorie- og feltforsøg samt i praksis ved afprøvning i forbindelse med udvikling af rensningsmidler og -midler. Aftryksplader kan ikke anvendes til lavbevoksning eller mosser. Mycometermetoden er ikke velegnet overhovedet i den afprøvede form. En videre udvikling og afprøvning af metoderne er dog nødvendig for endelig dokumentation af metodernes egnethed.

14.4 Resultater af delfasen: "Udvikling og afprøvning af testmetode"

De konkrete resultater af delfasen er, at der nu foreligger:

- En oversigt over hvilke testmetoder, der har været anvendt tidligere, dels baseret på litteraturundersøgelser, dels baseret på gennemførte prøvninger rapporteret og dokumenteret til enkeltfirmaer.
- En gennemprøvet metode til afprøvning af rensningsmidler og overflademidler. Den er beskrevet og afprøvet på udvalgte produkter og materialer. Variationer over prøvningsmetoden er ligeledes afprøvet, og det er beskrevet hvilke tillæg, der kan tages i anvendelse ved aftale om prøvningsforløb med en individuel producent.
- I forbindelse med ovennævnte er der etableret og afprøvet faciliteter til prøvning med mulighed for inkubering ved kunstigt lys og konstant temperatur og fugtighed. Der er foretaget indledende dyrkninger af monokultur af grønalge med henblik på optimering af dyrkningsforhold og i den forbindelse er det ligeledes afprøvet, hvordan pH påvirker alger, og hvordan alger påvirker pH i omgivende medium. Ved laboratorieforsøgene er det konstateret, at alger trives bedst ved pH over 7, og at der foregår en vekslende påvirkning af pH i mediet bl.a. afhængig af tid og næringsindhold i mediet.
- Orienterende forsøg med mekanisk rensning er gennemført og beskrevet.
- En metode, der kan anvendes til kvalitetskontrol af algeafrensning eller til dokumentation ved prøvning af mekanisk rensning er ligeledes afprøvet og beskrevet.

Der er hermed skabt grundlag for at tilbyde producenter af rensningsmidler, malingsproducenter mv. samt udførende rensningsfirmaer og producenter af materialer til udendørs eksponering et prøvningsprogram til dokumentation af effekt med henblik på forebyggelse og bekæmpelse af bevoksninger på

udendørs eksponerede materialer eller til dokumentation af et givet materiales modstandsdygtighed overfor etablering af bevoksninger.

14.5 Diskussion

Formålet var at udvikle en laboratoriemetode til test af midler og metoder til forebyggelse og bekæmpelse af bevoksninger på murværk, tegl- og betontage, der kunne vise virkningen dels af relevante typer af biologisk vækst, dels på relevante fysiske parametre hos materialerne.

15 Muligheder for forebyggelse af vækst

I følgende afsnit 16, 17, 18 og 19 beskrives resultaterne af projektets sidste delfase: "Oplæg til handlingsplaner".

På baggrund af resultaterne af projektets indledende faser

1. Kortlægning af midler og metoder
2. Undersøgelser af forekomster
3. Udvikling og afprøvning af testmetode

er der i projektets sidste fase "oplæg til handlingsplaner" udarbejdet en kritisk gennemgang af de muligheder der er for at forebygge eller bekæmpe biologisk vækst.

Ruhed, overfladenære porøsiteter, pH, mulighed for vandfælder i overfladen mv. vurderes at have betydning, mens der ikke kan ses nogen entydig sammenhæng mellem det totale materiales densitet og vandoptagelse. Undersøgelserne tyder således på, at det i vid udstrækning er forholdene i materialets overflade som er afgørende for omfang og art af vækst.

Næringsstoffer tilført fra omgivelser (med luft og regn, rensmidler, aflejringer mv.) vurderes at have en betydning, hvorimod materialernes eget indhold af næringsstoffer vurderes generelt ikke at have væsentlig betydning. Materialerne indeholder generelt ikke stoffer der vurderes at være giftige eller hæmmende overfor vækst. Materialernes pH kan dog influere på hvilke arter der har mulighed for at etablere sig.

På baggrund af disse vurderinger vil der i følgende afsnit blive angivet oplæg til handlingsplaner for påvirkning af følgende parametre:

- pH
- porøsitet
- overfladens ruhed
- overfladespænding
- fugtegenskaber
- næringsstoffer/giftstoffer

Begrebet fugtegenskaber er valgt som et samlet udtryk for materialets evne til at optage og afgive vand samt mulighederne for at lave "vandfælder" i overfladen. Begrebet er valgt fordi det som ovenfor nævnt ikke har været muligt i projektføreløbet at identificere en specifik fugtparameter som afgørende for mulighederne for vækst.

Projektets undersøgelser har særligt haft fokus på teglsten, tegltagsten, mørtel og betontagsten. De følgende beskrivelser vedr. muligheder for forebyggelse af vækst i de enkelte livscyklusfaser vil derfor også have fokus på disse materialer.

Der skelnes mellem følgende livscyklusfaser:

- udvinding af råmaterialer

- produktion
- konstruktion
- opførelse/udførelse
- brugsfase/vedligeholdelsesfase
- nedrivning/genanvendelse

Dog afrapporteres mulighederne for forebyggelse faserne "udvinding af råmaterialer" og "produktion" samlet.

16 Forebyggelse af vækst ved valg af råmaterialer samt produktionsproces

16.1 Indledning

Projektet har vist, at det ikke kun er omfanget af vækst, der er afgørende for om væksten ønskes fjernet, men i høj grad også om væksten forekommer ensartet over hele den aktuelle konstruktion. Mange kan eksempelvis bedre acceptere, at en hel tagflade er moderat begroet med alger end at der er moderat vækst af alger på enkelte delflader, hvis resten af tagfladen er uden vækst. Derfor er det i forbindelse med optimering af produktionsprocesserne vigtigt at sikre, at de parametre, der er betydende for væksten, varierer mindst muligt.

En vigtig handlingsplan for at undgå uønsket biologisk vækst er derfor at sikre god processtyring, der giver minimum af variationer på de materialeparametre der vurderes at have betydning for vækst.

16.2 Tegl

16.2.1 Indledning

Ved produktion af tegl indgår typisk følgende råmaterialer:

- Ler
- Sand
- Evt. savsmuld
- Evt. chamotte
- Evt. manganoxid
- Evt. bariumcarbonat
- Evt. hydratkalk

Ved produktion af tegl - såvel mursten som tagsten - vurderes formgivningsprocesserne og brændingsforløbet at have den afgørende indflydelse på de væsentlige materialeparametre. Tørringsforløbet vurderes at være uden væsentlig betydning.

Når producenter af tegl får reklamationer over vækst på teglprodukterne er det oftest i tilfælde af at der på tegltagsten i løbet af en kort periode er kommet kraftig vækst af grønalger. Det kan derfor for teglproducenterne være særligt interessant at se nærmere på hvordan vækst af grønalger forsinkes og reduceres.

16.2.2 Påvirkning af materialeegenskaber

pH

pH har især betydning for hvilke arter af vækst der trives på materialet.

Der vil være muligheder for vækst inden for hele det relevante pH-område. Styring af pH kan således ikke forventes at være et middel til at undgå vækst, men snarere en mulighed for at styre hvilken vækst, der får bedst betingelser for at gro på materialerne. Undersøgelserne tyder på, at laver bliver den dominerende vækststart ved pH over ca. 9, mens der er tendens til at grønalger forbliver den dominerende vækst ved lavere pH.

Betydningen af pH er ikke fuldstændig klarlagt. Projektets undersøgelser har vist at en række tegltagsten med tiden ændrer pH i overfladen. Årsagen til denne ændring er ikke nærmere undersøgt. Der synes at være en tendens til hurtig vækst af grønalger på materialer, hvor pH i løbet af en kort årrække falder væsentligt.

Det anbefales i første omgang at igangsætte undersøgelser der kan klarlægge årsagen til sænkning af pH. Der er givet flere bud på mulige forklaringer:

- udvaskning af basiske stoffer fra overfladen
- carbonatisering af kalciumhydroxid

Det er meget muligt, at pH i virkeligheden kun er et symptom på en ændring af materialets overflade. Evt. kan der være tale om ændret overfladenær porøsitet efter udvaskning af vandopløselige forbindelser, som dermed kan være den egentlige årsag til bedre betingelser for grønalgevækst.

Af ovennævnte råmaterialer vil det primært være kalkindholdet i leret der vil være afgørende for pH. Mængden af evt. tilsat hydratkalk kan ligeledes påvirke pH dog kun i mindre grad, da det typisk er meget små mængder der tilsættes.

Porøsitet

Projektets resultater indikerer, at det særligt er den overfladenære porøsitet som er af betydning for væksten.

Der er mange faktorer der har indflydelse på hvorledes det færdige tegls porøsitet bliver. Tilsætning af savsmuld til lerblandingen vil øge materialets indhold af grovporøsiteter, da savsmuldet vil bortbrænde under stenenes brænding og efterlade lufthuller. Øget tilsætning af savsmuld må forventes at give øget mulighed for vækst, i hvert fald når der er tale om mindre justeringer af mængden. Grovkornet savsmuld vil formodes at give bedre betingelser for vækst end finkornet. Det kan dog ikke helt udelukkes, at en kraftig forøgelse af savsmuldmængden vil kunne give et så grovporøst materiale at udtørring vil ske så hurtigt, at det kan reducere muligheden for vækst. Hvis porøsiteterne bliver overfladenære vil vedhæftningsmulighederne og muligheden for vandfælder i overfladen også forventes at øges, og dermed er det ikke sikkert, at væksten vil få dårligere betingelser. For at opnå ensartet porøsitet er det væsentligt, at savsmuldets kornstørrelsesfordeling er ensartet fra leverance til leverance.

Tilsvarende vil lerblandingsens indhold af organisk materiale bortbrænde og kan bidrage til porøsiteter i teglet. Organiske indhold varierer typisk fra 2-4%.

Lerblandingerens indhold af vand ved strygning må formodes at have en betydning for det brændte tegls porøsitet, da vandet forsvinder under tørring og brænding. En undersøgelse udført af Teknologisk Institut, Murværk: "Røde blødstrogne sten. Anvendte lerblandinger og produktionsprocesser",

viser at lerblandingerne vandindhold ved strygning afhænger af indholdet af lerminerale [38]. Ved stigende lermineralindhold øges lerblandingens vandindhold. Lerminerale kan binde vand i deres struktur, især smectit, som kan svulme op til mellem 200-700 vol%.

Formgivningsudstyret vil have betydning for materialernes porøsitet. Teglmursten formgives i Danmark typisk med soft extruder samt blødstensmaskiner af forskellige typer. Tagsten formes med extruder og forskellige typer af presser.

Vakuumextruderen er den mest anvendte maskine til produktion af teglsten, [37]. Ved ekstrudering med vakuum fjernes luft fra leret i vakuumkammeret, hvilket medfører tæt gods. Ved ændring af lufttrykket i vakuumkammeret er der således mulighed for i større eller mindre grad at påvirke luftindholdet. Typisk styres der dog allerede i dag efter at opnå det lavest praktisk mulige resttryk i vakuumkammeret. Ved for højt vandindhold eller for høj opvarmning af leret kan det være vanskeligt at fastholde et konstant optimalt vacuum. Et konstant vakuum er af afgørende betydning for at opnå ensartet porøsitet i materialerne.

Den kemiske sammensætning af lerblandingen sammen med brændingsforløb vil ligeledes påvirke materialernes porøsitet da disse parametre har stor betydning for graden af sintring og glasfasedannelse.

Overfladens ruhed

Overfladens ruhed afgøres primært ved valg af produktionsprocesser men alt andet lige vil det være nemmere at lave en glat overflade med finkornede råmaterialer. Derfor har råmaterialernes kornstørrelsesfordeling en betydning for det brændte tegls overfladeruhed. I praksis vil det særligt være magringssandets kornstørrelsesfordeling, som vil kunne påvirkes. Der vil være større tendens til ru overflade, hvis der anvendes en lerblending med mange grove korn. Typisk hvis magringssandet er meget grovkornet.

Derudover vil det ofte give en mere ru overflade, hvis der anvendes sand som slipmiddel.

Overfladeruheden afgøres særligt af formgivningsmetoden. Erfaringer fra et dansk tegltagstensværk viser at den nedslidning, der sker på forme på én produktionsdag, kan være så stor, at der kan måles op til 10% forskel på totalmassen af sten produceret om morgenen i forhold til sidst på dagen. Et sådant nedslid vil utvivlsomt også resultere i forskel i overfladeruhed på sten produceret om morgenen i forhold til sidst på dagen.

Et andet værk har tidligere anvendt forme med gummibelægning hvis mønster resulterede i et firkantet aftryk på stenene. Værket erfarede, at vækst ofte startede i disse aftryk.

Ved produktion af gipsforme til brug ved produktion af falstagsten er det vigtigt at optimere blandingen, således at formene optager den optimale mængde vand fra stenene. Optages der for lidt er der risiko for blænedannelse. Optager formene for meget vand kan leret hænge fast i overfladen.

Ved blødstrygning af teglsten vil højt vandindhold i leret give glatte overflader, mens mindre vand vil give mere struktur [37].

Hvis vandindholdet bliver for højt kan der dog under formgivningen være risiko for blænedannelse i overfladen som vil give anledning til lokal øget overfladeruhed.

Ved transport af sten fra maskine til tørreri med sten liggende på plader er det muligt at producere sten med et højere vandindhold, da stenene ikke skal rejses op, og således godt kan være relativt bløde. Kun ganske få anlæg er dog opbygget til transport af sten liggende på tørreplader.

Overfladespænding

Der har traditionelt ikke været fokus på det brændte tegls overfladespænding og dermed heller ikke på mulighederne for at styre denne.

Materialets overfladespænding er vanskelig at vurdere umiddelbart efter produktion, da den vil ændres med tiden efter ibrugtagning af materialerne. Dette skyldes, at overfladen med tiden ændrer karakter. Tegltagsten er eksempelvis sugende umiddelbart efter oplægning, men bliver i løbet af en kortere periode vandafvisende. Drypper man vand på en helt ny tegltagsten vil dråben suges bort, mens den vil blive stående som en perle på en sten der er taget ned fra et ældre tag.

Overfladespændingen er derfor en parameter som vil være meget vanskelig at optimere i produktionsprocessen uden forudgående uddybende undersøgelser af hvilke mekanismer der præcis styrer ændringerne efter ibrugtagning.

Den umiddelbart mest iøjefaldende mulighed for at påvirke overfladespændingen vil være at indføre en overfladebehandling af stenen efter brænding. Sker dette, skal der på listen over råmaterialer tilføjes imprægneringsmiddel/overfladebehandling.

Der er ikke i indeværende projekt gennemført undersøgelser af om der ved brug af overfladebehandling kan dokumenteres en effekt mod vækst.

På danske teglværker overfladebehandles teglprodukterne ikke. På enkelte tyske teglværker bliver nogle produkter imprægneret inden salg. Dette sker typisk for at reducere risikoen for senere udfældning af vandopløselige salte.

På universitetet i Bonn er der forsket i samspillet mellem overfladekemi, mikrostruktur og materialers tilbøjelighed til at tilsmudse og blive begroet med biologisk vækst. Princippet bygger en kombination af en hydrofobiering (vandafvisende effekt) og en særlig overflademikrostruktur. Produkterne skulle hermed have opnået en overfladespænding, der resulterer i at vandpartikler perler af og at smuds og vækst dermed ikke skulle få mulighed for at fæste. Princippet og de specifikke produkter er ikke undersøgt i indeværende projekt.

Fugtegenskaber

Fugt er en af de væsentligste betingelser for vækst, men undersøgelserne har vist, at det er vanskeligt at identificere specifikke fugtparametre som et mål for om materialet giver fordelagtige betingelser for vækst eller ej.

Resultaterne tyder på, at det særligt er overfladens fugtegenskaber der er væsentlige. Optimering af overfladens karakter, således at der sker mindst mulig opfugtning og hurtigst mulig udtørring, vurderes at kunne nedsætte vækstmulighederne.

Der er mange parametre som har indflydelse på materialets fugtegenskaber.

Undersøgelsen: "Røde blødstrøgne sten. Anvendte lerblandinger og produktionsprocesser", udført af Teknologisk Institut, Murværk [38] viser, at der er en tendens til at røde blødstrøgne sten brændt ved lave temperaturer (1000°C) har lavere densitet samt højere vandoptagelse end sten brændt ved

høje temperaturer (>1040°C). Indeværende projekts undersøgelser har dog ikke kunne konstatere en entydig sammenhæng mellem densitet eller vandoptagelse med omfang af vækst.

Fugtforholdene i overfladen kan påvirkes ved forskellige overfladebehandlinger (imprægnering, forsegling mv.). Som tidligere nævnt overfladebehandles teglprodukter ikke på danske teglværker.

Uddybende undersøgelser af fugtoptagelse/udtørring i overfladen er nødvendige, før præcise handlingsplaner kan opstilles. Det anbefales ved disse uddybende undersøgelser at se nærmere på mulighederne for at optimere fugtoptag og fugtafgivelse, således at tiden hvor materialernes relative fugtindhold er større end f.eks. 90% minimeres. (Uddybende undersøgelser bør fastlægge denne værdi mere præcist).

Kristian Fog Nielsen, har i ph.d.-afhandlingen: "Mould growth on building materials" beskrevet betydningen af den relative ligevægtsfugtighed også kaldet vandaktiviteten for forskellige arter af svampe. De fleste svampe trives bedst omkring et ligevægtsfugtindhold på 96-98% men mange er i stand til at vokse ved meget lavere indhold (70-80%), [39]. I afhandlingen [39] henvises til Adan, som har arbejdet med svampevækst på gips og malede materialer. Adan har brugt begrebet "time-of-wetness" (TOW) som defineres som forholdet mellem den våde periode ($RH \geq 80\%$) og den totale periode. Væksten øgedes langsomt med TOW fra 0,17 til 0,5 med en dramatisk stigning ved højere TOW.

Optimering af materialerne så time-of-wetness i overfladen minimeres må forventes at mindske omfanget af vækst.

Næringsstoffer/giftstoffer

Som tidligere beskrevet indeholder de undersøgte materialer generelt ikke næringsstoffer eller giftstoffer der vil virke befordrende eller hæmmende på biologisk vækst. Materialernes indhold af pH-regulerende stoffer influerer dog på hvilke arter der har mulighed for at etablere sig.

Glasurer kan dog indeholde metaloxider med giftvirkning (typisk bly, kobber og nikkel).

Eksperimenter med tilsætning af biocider til byggematerialer er i tidens løb gennemført flere steder, men sjældent særligt detaljeret afrapporteret.

For at stofferne skal kunne optages af væksterne og virke kræves det, at de er delvist vandopløselige. Dette medfører samtidig, at stofferne vil være mulige at udvaske fra materialerne ved vandpåvirkning. Derfor kan det være vanskeligt at sikre en langtidseffekt. Samtidig vil det være nødvendigt at vurdere betydningen for de omgivende miljø, da stofferne vil udvaskes. Virkningen af de udvaskede stoffer på det omgivende miljø skal vurderes i forhold til hvilken behandling der ellers ville være anvendt, og kun i de situationer hvor stofferne bidrager til en mindre miljøpåvirkning end andre behandlinger kan det betragtes som en renere teknologiløsning. Stofferne bør således ikke tilsættes til materialer, hvor der ikke er særligt ønske om at sikre, at der ikke kommer vækst.

En evt. mulighed kunne være at undersøge effekten af en mindre tilsætning af kobberforbindelser til leret. Muligvis vil store dele af kobberet dog efter brænding være uopløseligt og dermed utilgængeligt for væksten.

16.3 Betontagsten, kalksandsten, muremørtel, puds

16.3.1 Indledning

Ved produktion af betontagsten indgår typisk følgende råmaterialer:

- cement
- sand/grus
- mikrosilika
- flyveaske
- tilsætningsstoffer
- overfladebehandling

Ved produktion af muremørtler og puds indgår typisk følgende råmaterialer

- kalk og cement
- sand

Ved produktion af kalksandsten indgår typiske følgende råmaterialer:

- knust bjergartsmateriale
- sand
- brændt flint
- brændt kalk

16.3.2 Påvirkning af materialeegenskaber

pH

Som nævnt under tegl vil der vil være muligheder for vækst inden for hele det relevante pH-område. Styring af pH kan således ikke forventes at være et middel til at undgå vækst, men snarere en mulighed for at styre hvilken vækst, der får bedst betingelser for at gro på materialerne. Undersøgelserne tyder, på at laver bliver den dominerende vækststart ved pH over ca. 9, mens der er tendens til at grønalger forbliver den dominerende vækst ved lavere pH.

På betontagsten er laverne oftest den dominerende vækst.

Betontagsten, kalksandsten, muremørtler og puds er alle kalk- eller cementholdige produkter, som vil være stærkt basiske umiddelbart efter produktion og derefter langsomt ændre pH i overfladen efterhånden som materialerne karbonatiserer.

pH vil ikke ændres væsentligt ved mindre variationer i råmaterialerne, dvs. ved små ændringer af kalk eller cementmængde. pH værdien vurderes derfor ikke at kunne påvirkes væsentligt ved valg af råmaterialer og/eller ved ændringer/tiltag i produktionsprocessen. For betontagsten kan ændringen af pH dog bremses ved anvendelse af en karbonatiseringsbremsende overfladebehandling.

Porøsitet

Materialernes porøsitet vil i høj grad være påvirket af vand/bindemiddelforholdet.

For betontagsten vil det dog være porøsiteten i overfladen af stenen der har betydning for begroningen. Jo større porøsiteten er i overfladen, jo større risiko for begroning vil der være.

Der findes forskellige tilsætningsmidler (luftblanding, plastificering) til beton som vil kunne mindske betonens overfladeporøsitet. Det samme vil en overfladebehandling i form af maling kombineret med en udfyldning eller en flydende membran pålagt vådt i vådt med mørtlen/betonen.

Forhold i produktionsprocessen som udformning og valg af formmateriel vurderes ligeledes at få indflydelse på overfladeporøsiteten.

Overfladens ruhed

De enkelte råmaterialers kornstørrelsesfordeling har betydning for overfladens ruhed. For betontagsten er det både materialernes sammensatte kornkurve, forholdet mellem cement(pulver) og tilslag samt fremstillingsmetoden, form og formolie der har indflydelse på overflade ruheden.

En overfladebehandling med forudgående udjævning vil ligeledes få betydning for overflade ruheden. Det er i dag meget almindeligt, at betontagsten påføres en overfladebehandling på værket.

Overfladespænding

En lav overfladespænding på betontagsten vil nedsætte muligheden for befugtning af overfladen og for at væksterne får fodfæste på overfladen.

Betonens overfladespænding kan nedsættes ved brug af tilsætningsmidler, der gør betonen og dermed dens overflade tættere, eller ved påføring af malerbehandlinger og/eller flydende membraner.

Fugtegenskaber

Fugt er en af de væsentligste betingelser for vækst men undersøgelserne har vist, at det er vanskeligt at identificere specifikke fugtparametre som et mål for om materialet giver fordelagtige betingelser for vækst eller ej. Resultaterne tyder på, at det særligt er overfladens fugtegenskaber der er væsentlige. Yderligere undersøgelser af fugtforholdene i overfladen anbefales.

16.4 Natursten: Granit/gnejs

Granit og gnejs er naturprodukter, hvor variationerne i pH må forventes at være moderate fra forekomst til forekomst.

Der kan være forskelle i forekomsternes porøsitet og overfladeruhed.

Overfladeruheden afgøres dog primært i produktionsfasen. Her vil forskellige slibningsprocesser afgøre overfladeruheden.

17 Forebyggelse af vækst ved planlægning og design af konstruktion

17.1 Indledning

I forbindelse med projekteringen af byggeriet og valget af konstruktionsudformningen er det væsentligt at vurdere og i hvilket omfang biologisk vækst på konstruktionen kan accepteres.

Valg af hensigtsmæssig konstruktionsudformning kan i væsentlig grad reducere omfanget af biologisk vækst.

En vigtig handlingsplan for undgåelse af biologisk vækst er derfor at indarbejde det som en fast del af planlægning/projektering af nyt byggeri, at der tages stilling til i hvilket omfang vækst kan accepteres.

17.2 Tagudhæng

Hvis det vurderes at være væsentligt at undgå biologisk vækst på murværket, bør der ikke vælges at opføre en konstruktion uden tagudhæng.

Tagudhængets dimensioner skal fastlægges, således at murværket bedst muligt beskyttes mod slagregn. Herved minimeres time-of-wetness, jf. afsnit 16.2.2 vedr. fugtforhold.

17.3 Taghældning

Øget taghældning vurderes at give mindre mulighed for vækst sammenlignet med tag med samme materialer med mindre taghældning.

17.4 Tagventilation

Hvor vækst ikke er ønsket på tage bør der sikres god tagventilation af følgende grunde:

- Hvis dårlig ventilation af tagkonstruktionen resulterer i øget fugtindhold i stenene vil det give bedre betingelser for vækst.
- Ved dårlig ventilation under tegltage er der øget risiko for frostskafer. Frostsprængte sten vil være mere udsat for vækst en ubeskadigede sten pga. større mulighed for vedhæftning i de beskadigede områder.
- Brug af afstandslister på betontage kan medvirke til at undgå opsamling af skidt og snavs mellem undertag og sten, som ved ophobning kan medføre misfarvning af sten. Skidt og snavs kan også give anledning til lokal opfugtning og øget næringsstof og dermed øget mulighed for vækst.

17.5 Valg af fugedformning

Tilbageiggende fuger vurderes at give større muligheder for vandfælder og dermed større muligheder for vækst.

17.6 Undgåelse af konstruktive defekter

Lokale uønskede vandpåvirkninger er ofte årsag til vækst som i særlig grad bliver opfattet som uønsket fordi det forekommer "pletvis" og ikke betragtes som en del af den normale patineringsproces. Det er derfor vigtigt, at konstruktionen designes således, at der er mindst mulig risiko for konstruktive defekter der kan resultere i øget vækst.

Som eksempler kan nævnes:

- Udformning af tagrender mv., således at risiko for tilstopning minimeres og således at evt. overløb ikke rammer konstruktionen og opfugter denne.
- Korrekt placering af fugtspærre, løskanter mv.

17.7 Valg af materialer

Valg af materialer til konstruktionsudformning og beliggenhed:

Det er særdeles vigtigt, at der vælges korrekte materialer til den aktuelle konstruktionsudformning og beliggenhed. Begyndende nedbrud af materialer, afskalninger, forvitring mv. vil typisk øge mulighederne for vækst væsentligt.

Valg af materialer med mindst tilbøjelighed til at blive bevokset:

Materialernes tilbøjelighed til at blive bevokset med alger kan evt. vurderes ved brug af den i indeværende projekt beskrevne testmetode (jf. afsnit 13).

18 Forebyggelse af vækst ved opførelse/udførelse

18.1 Transport og håndtering af materialer

Det er vigtigt, at materialer transporteres og håndteres på en måde, så der ikke sker skader på materialerne. Der er i projektet set eksempler på, at vækst er startet i "skureskader" fra transport. Disse skader vil typisk give øget overfladeruhed og kan dermed give øget mulighed for vækst. Der vil være tale om vækst, der starter meget uensartet på stenen, og dette vil ofte ikke opfattes som naturlig patinering og være uønsket. Når væksten først er etableret på de beskadigede områder, vil der sandsynligvis være øgede muligheder for at den kan sprede sig ud over resten af materialet og dermed give anledning til kraftigere vækst, end der ellers ville være kommet.

18.2 Fugeudformning

Vækst i fuger starter ofte i de revner, der kan opstå mellem fuge og sten, hvis mørtelfugen ikke er trukket korrekt. Væksten vil typiske brede sig fra disse revner ud over hele mørtelfugens tværsnit. Derfor er det særligt vigtigt ved opførelse af byggeri, hvor vækst ikke ønskes, at mørtelfugerne udføres korrekt.

18.3 Afsyring

For kraftigt udført afsyring, der resulterer i forvitring af overfladen med efterfølgende udvaskning af bindemiddel og øget porøsitet til følge, vil give bedre betingelser for biologisk vækst.

18.4 Forebyggende overfladebehandlinger

Der findes en række produkter på markedet til overfladebehandling, der markedsføres med en forebyggende virkning overfor biologisk vækst.

I delrapporten "Kortlægning af midler og metoder" er overfladebehandlinger, der markedsføres med en forebyggende effekt overfor vækst, nærmere beskrevet.

Indeværende projekt har ikke omfattet afprøvning af disse midlers effektivitet, og offentlig tilgængelig dokumentation er ikke fundet.

Det vides således ikke, om der er produkter på markedet, som effektivt kan forebygge biologisk vækst over længere tid.

Det anbefales derfor, at midlers effektivitet undersøges og dokumenteres inden evt. anvendelse.

Det er væsentligt at gøre opmærksom på, at hvis man overfladebehandler tegl, bortfalder teglværkernes garanti på produkterne.

Produkternes evt. virkning overfor algevækst kan undersøges ved brug af indeværende projekts laboratoriemetode efter påføring på relevante materialer og gennemførelse af relevant ældning. Derudover bør overfladebehandlingens påvirkning på de relevante materialeparametre karakteriseres (pH, ruhed, porøsitet, fugtegenskaber i overfladen).

Midlernes kemiske sammensætning bør vurderes inkl.

nedbrydningsprodukter. Det skal sikres, at nedbrydningsprodukterne ikke er næringsstoffer for vækst. Der eksisterer dog ikke gennemprøvede standardmetoder der kan anvendes til denne vurdering.

Hvis overfladebehandlinger vælges anvendt, bør der altid foretages en vurdering af risici for skade på materialerne ved anvendelse. Følgende punkter som et minimum vurderes:

- Er materialet velegnet til behandling.
Murværk med højt indhold af opløselige salte vil f.eks. ikke være velegnet til overfladebehandlinger, da udfældning af saltkrystaller bag en imprægnering/forsegling/maling kan resultere i afskalninger og forvitring.
- Ved anvendelse af midler, der ændrer på materialenes evne til at optage og afgive fugt - herunder f.eks. imprægneringsmidler, forseglingsmidler, maling mv., er det vigtigt, at midlernes anvendelighed vurderes i forhold til den aktuelle konstruktion der ønskes behandlet. Hvis produkterne ikke er tilstrækkeligt diffusionsåbne til den aktuelle konstruktion, er der risiko for, at vand ophobes bag imprægneringen og derved forårsager frostsprængninger.
- Hvis overflader, der behandles med midler der nedsætter muligheden for vandfordampning, ikke er hele og sunde og uden revner, kan der lokalt ske stor indtrængning af vand, som efterfølgende vil have svært ved at fordampe fra konstruktionen igen.

Det bør pointeres, at forebyggende overfladebehandlinger indebærer en ekstra miljøpåvirkning i forhold til ubehandlede konstruktioner. Behandlingerne kan derfor kun betragtes som en miljøvenlig løsning i de tilfælde, hvor de evt. kan erstatte hyppig afrensning med kemiske bekæmpelsesmidler. Projektet har som tidligere nævnt ikke omfattet dokumentation af produkternes evt. effektivitet, og det vides således ikke, om der er produkter på markedet som effektivt kan forebygge biologisk vækst over længere tid.

18.5 Overfladebehandlinger generelt

Valg af overfladebehandlinger sker ofte ud fra et ønske om et bestemt æstetisk udseende. Ved kraftig vækst opnås dette udseende ikke. Derfor bør der inden valg af overfladebehandling foretages en vurdering af hvilken indflydelse behandlingen har på forekomst af vækst og om konstruktionens placering, materialer og udformning er egnet til den ønskede behandling. Vurdering kan ske på baggrund af oplysninger om materialets sammensætning og egenskaber sat i relation til indeværende projekts undersøgelser af væsentlige materialeparametre, konstruktionsforhold mv.

19 Forebyggelse af vækst i brugsfase/ vedligeholdelsesfase

19.1 Vedligehold af fuger/omfugning

Vækst i fuger begynder ofte i

- revner mellem fuge og sten
- revner ved afskalninger
- områder hvor forvitring er påbegyndt og har resulteret i en øget porøsitet i overfladen af mørtlen.

Ved vedligehold af fuger og minimering af områder, der er særligt tilbøjelige til at blive bevoksede, vil omfanget af biologisk vækst kunne mindskes.

19.2 Afrensningsmetoder

I konstruktionens levetid kan forskellige afrensninger evt. komme på tale, f.eks. for at fjerne almindelige snavs og smuds, for at fjerne af misfarvninger pga. afsyring eller kraftig vandpåvirkning under opførelse mv. I forbindelse med sådanne afrensninger er det væsentligt, at afrensningens konsekvenser for efterfølgende biologisk vækst bliver inddraget i overvejelserne.

Ved afrensning med kemiske midler skal det både vurderes, om midlet indeholder stoffer som kan

- være næringsstoffer for biologisk vækst
- kan være giftige overfor biologisk vækst
- påvirke overfladens ruhed, f.eks. ved ætsning
- påvirke overfladens overfladespænding væsentligt
- påvirke overfladens pH væsentligt.

Fosforsyre kan nævnes som et eksempel på et middel der kan give anledning til øget vækst. Fosforen i fosforsyren er på en form som er lettilgængelig for mikroorganismer, [31].

Vælges en mekanisk afrensning, skal det vurderes, om metoden påvirker overfladens ruhed væsentligt. Hvor der anvendes der blæsemidler, skal der foretages en vurdering af om disse opløses og trænger ind i murværket. Blæsemidlerne skal da vurderes på tilsvarende måde som ovenfor nævnte kemiske midler.

19.3 Vedligehold af overfladebehandlinger

Overfladebehandling af murværk gives primært med det formål at opnå et bestemt ønsket udseende (kalkning, indfarvet puds, maling mv.). Biologisk vækst på disse overfladebehandlinger vil typisk være særdeles uønsket.

Nedbrud og skader på overfladebehandlingerne (f.eks. lokale afskalninger) vil typisk give øgede muligheder for vækst og løbende vedligehold af overfladebehandlingerne bør gennemføres, hvis vækst skal forebygges.

19.4 Bevoksning i omgivelser

Bevoksning i omgivelserne har betydning for den biologisk vækst. Bevoksningen kan dels kaste skygge på konstruktionen, dels medvirke til aflejring af biologisk materiale til konstruktionen (pollen, blade, mv.). Begge dele medvirker til øget mulighed for vækst. Løbende vedligehold af beplantning i næromgivelser kan derfor være en væsentlig del af forebyggelsen af biologisk vækst.

20 Betydning af forebyggelse for muligheder ved nedrivning/genanvendelse

20.1 Indledning

Der er kun få af de tiltag til forebyggelse af vækst, der er beskrevet i tidligere afsnit, som vil have væsentlig indflydelse på materialernes muligheder for genanvendelse efter nedrivning. De tiltag, der vurderes at have indflydelse på mulighederne, er beskrevet i følgende afsnit:

20.1.1 Tilsætning af biocider/giftstoffer

Mulighederne for genanvendelse af materialer indeholdende vandopløselige giftige bestanddele vil naturligvis afhænge af art og koncentration af den giftige bestanddel. Der vil være behov for yderligere undersøgelser og dokumentation af miljø- og arbejdsmiljømæssige konsekvenser ved genanvendelse af de specifikke materialer, ligesom forhold vedr. deponering af affald bør afklares (er der tale om farligt affald?).

20.1.2 Overfladebehandlinger

Overfladebehandlinger vil ofte give materialerne en vandafvisende effekt. Selvom denne virkning ikke er evigt varende kan det ikke udelukkes, at det kan påvirke mulighederne for genanvendelse i negativ retning.

Her kan f.eks. tænkes på:

- Genbrug af hele teglmursten
Det er meget sandsynligt at vedhæftningen til mørtel vil være væsentligt forringet hvis indtrængningen af eksempelvis en imprægnering gør, at sugningen af vand fra mørtel er væsentligt ændret.
- Genbrug af tegl i knust form som tennisgrus
Imprægneret tegl vil ikke nødvendigvis kunne genanvendes knust som tennisgrus, da gruset ikke vil suge vand på samme måde som ubehandlet knust tegl.
Det er oplyst af producenter af tennisgrus, at brugte, knuste tegltagsten ikke kan bruges pga. algevækst.

21 Konklusioner

Sammenfatning findes i rapportens indledende artikel. Væsentlige konklusioner er opsummeret i følgende:

- **De i praksis anvendte midler og metoder til forebyggelse og bekæmpelse af biologisk vækst på murværk, tegl- og betontage er kortlagt.**

Kortlægningen har vist at de i praksis anvendte midler oftest ikke er godkendt til bekæmpelse af biologisk vækst.

- **Vækst på murværk, tegl- og betontage i Danmark er kortlagt.**

Ved en områdeundersøgelse og flere enkeltstående undersøgelser er der indsamlet materialeprøver og prøver af bevoksninger, som er analyseret. Der er identificeret 26 arter af laver, 5 arter af alger, 8 arter af mosser og 3 arter af svampe. På baggrund af dette materiale er der udarbejdet et farvekatalog med nøgler til gruppering og identifikation af de mest almindeligt forekommende arter, således at fremtidige identifikationer af vækster på materialeprøver forenkles. Kendskab til arterne af vækst øger mulighederne for at vurdere årsagssammenhænge og dermed give mere præcis rådgivning vedr. forebyggelse og bekæmpelse.

- **Betydende materialeparametre er identificeret og beskrevet.**

Undersøgelserne viser, at pH har betydning for arten af vækst, der forekommer på materialerne. Teglsten hvor pH i overfladen falder i løbet af en relativt kort periode har en tendens til hurtigt at blive bevoftet med grønalger.

Overfladens ruhed har betydning for hvor hurtigt og hvor kraftigt begroning der kommer på materialerne. Overfladens ruhed har også betydning for hvilke arter af vækst der har mulighed for at vokse på materialerne.

Materialernes porøsitet, særligt den overfladenære porøsitet vurderes at have indflydelse på forekomst af væksten.

Materialernes indhold af næringsstoffer vurderes generelt at være af underordnet betydning; derimod vurderes det at spille en afgørende rolle hvilken næring der bliver tilført fra rensningsmidler, forudgående vækst, biologiske aflejringer mv.

Materialets fugtegenskaber - evnen til at optage og afgive vand samt mulighederne for vandfælder i overfladen - vurderes ligeledes at have stor betydning. Det har dog ikke været muligt i projektforløbet at identificere en specifik fugtparameter som afgørende for mulighederne for vækst. Optimering af materialerne så time-of-wetness i overfladen minimeres forventes at mindske omfanget af vækst.

Undersøgelserne af densitet og vandoptagelse viser ingen entydig indflydelse på forekomst af vækst.

Særligt interessante er resultaterne af fordampningsforsøgene der viser, at fugt fordamper hurtigere fra kraftigt bevoksede materialer end fra tilsvarende materialer med mindre vækst.

Betydende konstruktionsforhold er identificeret og beskrevet.

Valg af hensigtsmæssig konstruktionsudformning kan i væsentlig grad reducere omfanget af biologisk vækst, særligt på lodrette murværksflader.

- **Vækstens virkning på materialerne er undersøgt.**

Undersøgelserne viser generelt ingen tegn på risiko for skader, der kan have indflydelse på materialernes konstruktive levetid. Undtaget er dog de tilfælde, hvor vækst kan medvirke til dårlig vedhæftning og afskalning af overfladebehandlinger, eller hvor kraftige mospuder på tage kan give mulighed for indtrængning af vand.

Projektets resultater giver således større mulighed for at vurdere, hvornår afrensning er nødvendig. I de situationer, hvor der ikke er æstetiske krav der gør væksten uønsket, vil afrensning oftest kunne udelades.

Undersøgelserne viser, at det er væsentligt ved vurdering af om der skal gennemføres afrensning og ved valg af metode at undersøge risici for skader ved den rensemetode, der påtænkes anvendt.

- **Afrensning af vækst, vurdering af effekt af midler og metoder samt vurdering af risici ved afrensning er beskrevet.**

Der er udarbejdet et review over de hidtil anvendte metoder til laboratorietest af midler til bekæmpelse af bevoksninger på udendørs eksponerede flader.

Der er udviklet og afprøvet en standardmetode til laboratorietest af den bekæmpende/beskyttende effekt af midler mod algevækst. Metoden giver mulighed for:

- prøvning af midler til bekæmpelse eller rensning af murværk, tegl- og betontage
- prøvning af midler til forebyggelse af etablering af bevoksninger
- prøvning af materialers modstandsdygtighed overfor etablering af bevoksninger.

Det er dog væsentligt at den biologiske test kombineres med undersøgelser af de væsentlige materialeparametre, når midler til forebyggelse og materialers modstandsdygtighed overfor etablering af bevoksninger, skal vurderes.

Der er endvidere udviklet og afprøvet en metode til kvalitetssikring af afrensning af algeforekomst. En videreudvikling og afprøvning af metoderne er dog nødvendig for endelig dokumentation af metodernes egnethed.

- **Anbefalinger vedr. afrensning er opstillet**

Projektets undersøgelser viser, at det er væsentligt ved vurdering af om der skal gennemføres afrensning, at risici for skade på materialerne ved den påtænkte rensemetode nøje undersøges. Dette skal særligt ses i lyset af at

projektets resultater viser, at vækst ofte kun er et æstetisk problem og generelt ikke giver anledning til forkortelse af materialernes konstruktive levetid.

Der er ikke i dag nogen nem universalløsning at anbefale, når det gælder afrensning af biologisk vækst.

Den overordnede anbefaling må være at:

undgå afrensning, ved i videst muligt omfang at forebygge uønsket vækst og i højere grad acceptere, at byggematerialer ofte vil blive bevoksede i større eller mindre grad.

I de tilfælde, hvor afrensning ønskes gennemført, kan følgende anbefalinger gives:

- *Indledningsvis bør der foretages en undersøgelse af den aktuelle konstruktion med henblik på at identificere årsagen til vækst. Hvis årsagen identificeres og forholdene ændres kan mulighederne for ny vækst efter afrensning mindskes. Herved kan man reducere hyppigheden af fremtidige afrensninger og dermed reducere skader på materialerne som følge af afrensning.*

Der kan være f.eks. være tale om defekter, der giver anledning til øget fugt. Disse bør identificeres og udbedres. Bevoksning i omgivelser skal vurderes og evt. beskæres således at skyggetid og aflejring af pollen mv. fremover minimeres. Det bør overvejes om der skal laves ændringer på konstruktionen for at minimere fremtidig vækst (f.eks. bedre tagudhæng eller lignende.).

- Ved kraftige mospuder på tage i overlap mellem sten: *Håndplukning eller blid afbørstning.*
- Ved mos i fuger: *Udkradsning og omfugning.*
- Ved alge- eller lavvækst på tage eller murværk: *Spuling med vand ved lavest mulige tryk.*
Der bør altid indledes med et rensforsøg for at fastlægge den mest skånsomme afrensning. Man skal være opmærksom på at væksten sandsynligvis kun kan fjernes delvist og kan blive spredt yderligere ved afrensningen. Hvis afrensningen beskadiger overfladen (hvilket selv relativt lave tryk ofte vil gøre) kan den nye overfladestruktur give større muligheder for ny vækst. Laver sidder væsentligt bedre fast end alger og særligt ved afrensning af ældre lavbevoksninger vil der ofte kræves så højt tryk, at beskadigelse af overfladen ikke kan undgås. Afrensning kan dermed være starten på en ond cirkel, hvor afrensning medfører mere vækst og dermed hurtigere behov for ny afrensning

Der vurderes at være behov for udvikling af et miljøvenligt kemisk middel, der kan godkendes til bekæmpelse af vækst, i de tilfælde hvor:

- murværk skal afrenses inden ny overfladebehandling med kalk, maling eller lignende.
 - der er konkrete ønsker til æstetisk udseende, der nødvendiggør afrensning. Ved mekanisk afrensning og især ved afrensning af ældre lavbevoksninger vil der være stor risiko for beskadigelse af overfladen.
- **Muligheder for forebyggelse af vækst er beskrevet.**

Der er udarbejdet en kritisk gennemgang af de muligheder der er for at forebygge eller bekæmpe biologisk vækst. Gennemgangen omhandler hele materialets/konstruktionens livscyklusforløb. Betydningen af de forebyggende tiltag for mulighederne for genanvendelse efter nedrivning er ligeledes beskrevet.

Råmaterialer og produktionsprocesser

Projektet har vist, at det ikke kun er omfanget af vækst, der er afgørende for om væksten ønskes fjernet, men i høj grad også, om væksten forekommer ensartet over

hele den aktuelle konstruktion. En vigtig handlingsplan for at undgå uønsket biologisk vækst er derfor at sikre god processtyring, der giver minimum af variationer på de materialeparametre, der vurderes at have betydning. Muligheder for undgåelse/minimering af vækst ved påvirkning af pH, porøsitet, overfladeruhed, overfladespænding, fugtegenskaber, næringsstoffer/giftstoffer er beskrevet.

Den tidligere omtalte testmetode kan i kombination med undersøgelser af tidligere anførte relevante materialeparametre anvendes til at vurdere effekten af gennemførte ændringer af materialeparametre.

Forebyggelse ved planlægning og design af konstruktion

I forbindelse med projekteringen af byggeriet og valget af konstruktionsudformningen er det væsentligt at vurdere i hvilket omfang biologisk vækst på konstruktionen kan accepteres.

Valg af hensigtsmæssig konstruktionsudformning kan i væsentlig grad reducere omfanget af biologisk vækst, særligt på lodrette murværksflader.

En vigtig handlingsplan for undgåelse af biologisk vækst er derfor at indarbejde det som en fast del af planlægning/projektering af nyt byggeri, at der tages stilling til i hvilket omfang vækst kan accepteres.

Mulighederne for forebyggelse af vækst ved valg af tagudhæng, taghældning, tagventilation, fugeudformning, materialer og undgåelse af konstruktive defekter er beskrevet.

Optimering af konstruktionen, så time-of-wetness i overfladen af materialerne reduceres, mindsker omfanget af vækst.

Forebyggelse ved opførelse/udførelse

Mulighederne for forebyggelse af vækst ved

- transport
- fugeudformning
- afsyring
- forebyggende overfladebehandlinger
- overfladebehandlinger generelt

er beskrevet.

Forebyggelse i brugsfase/vedligeholdelsesfase

Mulighederne for forebyggelse af vækst ved

- vedligehold af fuger/omfugning
- afrensning
- overfladebehandlinger
- vedligehold af omgivelser

er beskrevet.

Betydning af forebyggelse for mulighederne ved nedrivning/genanvendelse

Der er kun få af de tiltag til forebyggelse af vækst der er beskrevet i projektet som vurderes at have væsentlig indflydelse på materialernes muligheder for genanvendelse efter nedrivning. De tiltag der vurderes at have indflydelse er

- tilsætning af biocider/giftstoffer ved produktion af byggematerialer
- brug af vandafvisende overfladebehandlinger

22 Forslag til yderligere undersøgelser

På baggrund af det gennemførte projekt er der opstillet følgende forslag til yderligere undersøgelser vedr. biologisk vækst. Forslagene er listet i en ikke prioriteret rækkefølge:

- Uddybende undersøgelser af overfladers fugtforhold, herunder opfugtnings- og udtørningshastigheder.
- Yderligere undersøgelser af de øvrige materialeparametre, der er fundet betydende, og undersøgelser af mulighederne for at påvirke disse, herunder overfladeruhed, porøsitet, pH/kalkindhold. Herunder også yderligere undersøgelser af ændringen af disse materialeparametre fra nye materialer forlader produktionen til et par år efter anvendelse (indeværende rapport giver eksempler på, at parametre som f.eks. fordampningshastighed, ruhed, pH ændres relativt kort tid efter ibrugtagning). Uddybende undersøgelser af muligheder for påvirkning af disse ved valg af råmaterialer og produktionsprocesser.
- Biologisk test af produkternes evne til at forebygge vækst, efter optimering.
- Laboratorieprøvning af bevoksede materials frostbestandighed. Projektet har vist overraskende resultater vedr. fordampningshastighed af hhv. kraftigt begroede materialer og svagt begroede materialer. Det påstås ofte, at øget vækst kan give anledning til øget risiko for frostskafer på materialerne. Projektets resultater antyder, at dette ikke er korrekt. For bedre at kunne dokumentere dette foreslås, at der gennemføres frosttest af begroede materialer.
- Undersøgelser af betydningen af kraftig mosvækst for tagfladers mulighed for at afgive fugt.
- Undersøgelse af evt. frigivelse af næringsstoffer fra maling, glasurer og andre overfladebehandlinger og dennes betydning for biologisk vækst. Herunder også hvilken betydning biologisk vækst har på yderligere frigivelse af næringsstoffer. Indeværende projekt har kun i meget lille udstrækning beskæftiget sig med vækst på malede overflader, og dette bør undersøges nærmere.
- Undersøgelser af bakteriers indflydelse på efterfølgende vækst, herunder hvorvidt biofilm styrer den efterfølgende vækst og dermed om man på et tidligt tidspunkt kan påvirke denne. Forsøg med undersøgelser af biofilmdannelse og påvirkning af disse.
- Opstilling af krav til kvalitetsstyring ved bekæmpelse/forebyggelse/afrensning af biologisk vækst på murværk, tegl-

og betontage. Videreudvikling af kvalitetskontroltest til brug efter afrensning.

- Udvikling og afprøvning af en simpel metode til fastlæggelse af overfladers ruhed.
- Undersøgelse/dokumentation af forskellige overfladebehandlings evnt. forebyggende effekt og langtidsvirkning mod biologisk vækst.
- Udvikling af et effektivt, miljøvenligt middel til afrensning af bevoksninger, hvor det skønnes nødvendigt af æstetiske årsager eller af hensyn til vedhæftning af en eventuel overfladebehandling i forbindelse med reovering eller vedligehold.

23 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 Tekniske 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. "Afrensningemetoder 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 and Sandstone Deterioration", *Int. Biodeterioration Bulletin* 8(1) 25-27, 1972
19. O. Guillitte: "Bioreceptivity and Biodeterioration 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 wärme gedämmten 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
37. Niels Nielsen: "Maskinkompendiet", *Teglindustriens Forsknings og Uddannelseslegat*, 1999
38. Teknologisk Institut, Murværk: "Røde blødstrogne sten. Anvendte lerblandinger og produktionsprocesser", *Teglindustriens Forsknings- og Uddannelsesfond*, 2001.
39. Kristian Fog Nielsen: "Mould growth on building materials", *ph.d.-afhandling DTU*, 2001