



LUND UNIVERSITY

Livslängdsbedömningar av byggnadsmaterial

Burström, Per Gunnar

1999

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Burström, P. G. (1999). *Livslängdsbedömningar av byggnadsmaterial*. (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7147). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
LUNDS UNIVERSITET

Avd Byggnadsmaterial

LIVSLÄNGDSBEDÖMNINGAR

AV

BYGGNADSMATERIAL

Per Gunnar Burström

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola
Byggnadsmaterial
Box 118

221 00 LUND

Tel: 046-2227415
Fax: 046-2224427
www.byggnadsmaterial.lth.se

INNEHÅLL

FÖRORD	i
MILJÖKONSEKVENSER AV BYGGNADSMATERIAL I KRETSLOPP	iii
SAMMANFATTNING	v
1 BAKGRUND	1
2 SYFTE	3
3 BEGREPPET LIVSLÄNGD	5
3.1 Allmänt	5
3.2 Krav på beständighet och livslängd	7
3.3 Definitioner	8
4 NEDBRYTNINGSMEKANISMER	11
4.1 Allmänt	11
4.2 Kemiskt angrepp	12
4.3 Elektrokemiskt angrepp	13
4.4 Fysikaliskt angrepp	14
4.5 Biologiskt angrepp	15
4.6 Strålningsangrepp	15
5 BYGGMATERIAL – HUVUDGRUPPER	17
5.1 Allmänt	17
5.2 Cement- och/eller kalkbundna material	17
5.2.1 Betong	17
5.2.2 Armerad betong	18
5.2.3 Lättbetong	19
5.2.4 Puts- och murbruk	20
5.2.5 Kalksandsten	20
5.3 Keramiska material	21
5.3.1 Fasadtegel	21
5.3.2 Taktegel	21

5.4	Metaller.....	21
5.4.1	Järn och stål	21
5.4.2	Aluminium.....	22
5.4.3	Koppar	23
5.5	Träbaserade material.....	23
5.5.1	Massivt trä	23
5.5.2	Träbaserade skivmaterial	24
5.6	Glas	25
5.7	Polymera material	26
5.7.1	Termo- och hårdplaster, elastomerer	26
5.7.2	Fogmaterial, tätskiktsmattor (takpapp)	27
5.8	Ytbehandlingsmaterial	27
6	KARAKTERISERING AV YTTRE MILJÖ	29
6.1	Allmänt	29
6.2	Existerande indelningar i miljöklasser.....	30
6.3	Förslag till karakterisering av yttre miljö	32
7	METODER FÖR BEDÖMNING AV LIVSLÄNGD	35
7.1	Allmänt	35
7.2	Praktisk erfarenhet och långtidsprovning	35
7.3	Laboratorieprovningar	36
7.4	Livslängdsberäkningar.....	37
7.5	Internationellt standardiseringsarbete	38
8	LIVSLÄNGD HOS BYGGMATERIAL	41
8.1	Inledning	41
8.2	Metodik.....	42
8.3	Anvisningar för läsaren.....	43
8.4	Cement- och/eller kalkbundna material	44
8.5	Keramiska material	44
8.6	Metaller.....	45
8.7	Träbaserade material.....	45
8.8	Glas	46

8.9	Plast- och fogmaterial	46
8.10	Ytbehandlingsmaterial	47
8.11	Takmaterial	48
REFERENSER		49

FÖRORD

I november 1995 startade forskningsprogrammet "Miljökonsekvenser – Byggmaterial i kretsloppet". Programmet samfinansieras av Industrins Byggmaterialgrupp och Byggeforskningsrådet. Ett av delprojekten kallas "Livslängdsbedömningar av byggmaterial" (IB-A1, projekt nummer 950485-9). Föreliggande rapport är en slutrapport för detta projekt. Till samtliga projekt har hört en styrgrupp bestående av följande personer:

Vidar Sjödin, Industrins Byggmaterialgrupp (IB), ordförande 06 30

Hans Ewander, Industrins Byggmaterialgrupp, ordförande 07 01

Göran Svensson, Chalmers Tekniska Högskola, sekreterare

Birgitta Hässler, Byggeforskningsrådet

Gunnar Anderlind, Gullfiber AB

Christer Ljungkrantz, Cementa AB

Till projekt IB-A1 har dessutom prof Lars-Olof Nilsson, Chalmers Tekniska Högskola, fungerat som särskild rådgivare.

Syftet med projektet har varit att skapa ett enkelt och överskådligt system där materialens bedömda livslängd i olika miljöer kan avläsas. Systemet skulle även vara så flexibelt att fler material och andra miljöer skulle kunna tillfogas senare.

Efter studier av litteratur inom området kan man konstatera att det är relativt ont om uppgifter om livslängder för olika byggmaterial. Dessutom finns ofta stor osäkerhet och stora variationer i tillgängliga uppgifter. Trots detta presenteras i rapporten ett förslag till system, där även ungefärliga livslängder framgår.

En första preliminär rapport utarbetades i augusti 1998. För att få in synpunkter distribuerades denna till ca 40 intressenter. En stor mängd mycket värdefulla synpunkter erhöles (tack för dessa). De inkomna reaktionerna har nu bearbetats och arbetats in i den slutliga rapporten.

Lund i september 1999

Per Gunnar Burström

MILJÖKONSEKVENSER AV BYGGNADSMATERIAL I KRETSLOPP

Ramavtal mellan Industrins Byggmaterialgrupp och Byggeforskningsrådet (IB-BFR) om gemensamt finansierad forskning

Industrins Byggmaterialgrupp och Byggeforskningsrådet beslöt 1995 om en gemensam finansiering av forskning inom området Miljökonsekvenser av byggnadsmaterial i kretslopp, baserat på ett forskningsprogram med följande innehåll:

- Faktaunderlag för livscykelanalyser
- Restprodukter från byggande och byggnader
- Metodik för bedömning av byggmaterials miljöegenskaper

En viktig del av faktaunderlaget för livscykelanalyser (LCA) är uppgifter om ett materials eller en byggnads livslängd. I vissa fall kan en fördubbling av livslängden medföra att miljökonsekvenserna av en byggnad eller en produkt halveras. Det är därför viktigt för den som genomför en livscykelanalys att ha tillgång till relevanta data om byggnadsmaterials och byggnadsdelars livslängd. Sådana uppgifter är inte alltid tillgängliga utanför kretsen av materialspecialister. Den som genomför en livscykelanalys har hittills haft mycket svårt att få tag på relevanta uppgifter om byggnadsmaterials förväntade livslängd.

För att råda bot på denna brist uppdrog IB-BFR till Per Gunnar Burström, avd. för Byggnadsmaterial vid Lunds tekniska högskola att för användning i livscykelanalyser göra en sammanställning av vad som kan betraktas som rimliga livslängder för vanligt förekommande byggnadsmaterial. Vi vill särskilt betona att uppdraget har gällt en sammanställning av befintlig kunskap och inte att ta fram ny kunskap.

Det resultat som nu föreligger har utsatts för granskning och betydande kritik, bland annat inom Industrins Byggmaterialgrupp. Kritiken har främst kommit från specialister på material och beständighetsfrågor, vilka med all rätt påpekat svårigheten att i tabeller förenkla så komplicerade frågeställningar det här är fråga om. Trots det vill styrgruppen för IB-BFRs ramprogram publicera rapporten, eftersom vi är övertygade om att den kommer att fylla ett stort behov bland dem som utför LCA.

För att rapporten inte skall misstolkas är vi angelägna om att framföra följande:

För andra ändamål än som underlag för LCA är rapportens data ej utan vidare tillämpliga. Den som på annat sätt kan styrka livslängd för ett material skall i första hand använda sådana, väl definierade livslängdsuppgifter. Rapportens uppgifter om livslängd skall ses som tumregler att användas när andra, verifierade data ej finns tillgängliga. Uppgifterna om livslängd skall därför användas med försiktighet.

Stockholm i september 1999

Styrgruppen för IB-BFRs ramavtal Miljökonsekvenser - Byggmaterial i kretsloppet

Hans Ewander
Ordförande

Göran Svensson
Sekreterare

SAMMANFATTNING

Projektets syfte har varit att sammanställa befintligt vetande om byggmaterialens livslängd i olika typer av yttre miljöer. Med dessa avses här huvudsakligen byggnaders klimatskal.

I rapporten diskuteras först begreppen beständighet och livslängd. Dels vad dessa begrepp innebär, dels vilka krav som från olika håll ställs i dessa avseenden. Kraven är oftast sällsynta och dessutom vagt formulerade. Med utgångspunkt från arbeten, som pågår i internationella sammanhang definieras livslängd på följande sätt: "Livslängd hos byggmaterial är den tidsperiod efter vilken materialen når en funktion som är oacceptabel".

Livslängden hos byggmaterial är ju beroende dels av materialens uppbyggnad, sammansättning och hur de används, dels av den miljö där de exponeras. För att bättre kunna förstå sambanden mellan dessa faktorer beskrivs först fem, principiellt olika, nedbrytningsmekanismer.

Byggmaterialen indelas därefter i olika huvudgrupper. Utgångspunkten för denna indelning är materialens uppbyggnad, dvs väsentliga beståndsdelar och sammansättning. Ett undantag har dock gjorts: Gruppen "Takmaterial" har fått en egen grupp trots att denna snarast representerar en funktion. Den använda strukturen är dock mycket lätt att komplettera vid behov. I anslutning till denna gruppindelning beskrivs, mycket kortfattat, även de nedbrytningsmekanismer, som kan vara aktuella för respektive grupp.

Den yttre miljön kan karakteriseras med ett antal, för livslängden väsentliga, miljöfaktorer. Med detta som utgångspunkt diskuteras olika typer av miljöklasser. I kapitel 6 ges ett förslag till definition av yttre miljö, till vilken materialens "normala livslängd" relateras.

För att läsaren bättre skall kunna värdera uppgifter beträffande livslängd hos byggmaterial görs i kapitel 7 en översiktlig beskrivning av de olika metoder, som normalt används för att uppskatta livslängder hos material. Dessutom ges en kort beskrivning av det internationella standardiseringsarbetet som pågår inom området.

Kapitel 8, "Livslängd hos byggmaterial", har utformats så att detta kapitel i huvudsak skall kunna läsas fristående de övriga kapitlen. Där presenteras dels metodiken, dels uppskattade livslängder för ett flertal byggmaterial. Värdena anges normalt i form av ett intervall med en eventuell korrigeringsfaktor. Värdena är många gånger ganska osäkra. Detta speglar dock det nuvarande vetandet: Vi har inte kommit längre än så. Det finns ett stort behov av ytterligare kunskap i ämnet.

1

BAKGRUND

Livscykelanalys, LCA, är ett verktyg som i allt ökad omfattning används för att beskriva och utvärdera olika produkters sammanlagda miljöbelastning under hela deras livscykel.

Om man applicerar detta tänkande på byggmaterial måste hänsyn även tas till livslängden hos produkterna. Om två identiska produkter med samma miljöpåverkan men olika livslängd jämförs, kommer den produkt, som har den kortaste livslängden att ge störst miljöpåverkan per år räknat. Att kunna uppskatta livslängden för enskilda material i olika miljöer och konstruktioner är därför en mycket viktig länk i den kedja av värderingar och beräkningar, som vi idag kallar för "livscykelanalys". Ett annat område där denna information är viktig att känna till gäller underhållsplanering av byggnader.

Relevant och säker information om byggmaterials livslängd är dock svår att hitta. Detta konstateras bl a på följande sätt [36]: "Information om livslängd ges normalt på ett osystematiskt sätt och är mycket svår att använda praktiskt eftersom:

- Det skulle vara extremt tidsödande att värdera all den information som behövs.
- Det skulle krävas kunskap från experter rörande livslängdsfilosofin.
- Det skulle krävas ansenlig kunskap för att finna och utvärdera informationen.
- Det skulle vara viktigt med en förtrogenhet med ett stort antal material".

Dessutom är det naturligtvis så att de data som finns gäller för gamla material där erfarenhet finns och studier gjorts. Dessa livslängder kan vara helt annorlunda än för nya materialkvaliteter i samma materialgrupper [29]. Vidare är även miljön en variabel i tiden. Hur miljön utvecklas i framtiden vet vi inte. Det är därför viktigt att kunna förstå nedbrytningsmekanismerna för att kunna förutsäga materialens livslängd i olika miljöer.

Begreppet livslängd har trots detta börjat användas i allt ökad omfattning under det senaste decenniet. Stora framsteg har även gjorts när det gäller att kunna bedöma materials livslängd. Samtidigt måste man tyvärr konstatera att de uppgifter som finns i de flesta fall är behäftade med mycket stor osäkerhet.

2

SYFTE

Projektets primära syfte har varit att sammanställa befintligt vetande om byggmaterials livslängd i olika typer av yttre miljöer. Med "yttre miljö" avses här huvudsakligen byggnaders klimatskal.

Eftersom det finns en mycket stor osäkerhet i tillgängliga uppgifter har även funnits ett antal "sekundära syften", nämligen

- att definiera begreppet "livslängd"
- att identifiera olika materialgruppers nedbrytningsmekanismer
- att definiera rimliga miljötyper.

Med "material" menas här material som exponeras i en yttre miljö. Detta exkluderar t ex mineralull innanför ett utanpåliggande putsskikt. Detta inkluderar dock t ex ett putsskikt med ytbehandling, en träpanel med täckfärg osv.

Konstruktioner och materialval förutsätts vara gjorda så att de tillfredsställer de övergripande kraven som gäller enligt svenska byggbestämmelser. Dessutom förutsätts ett fackmannamässigt utförande.

Resultatet av projektet skall innehålla en struktur, som sedan kan kompletteras när t ex ytterligare materialdata föreligger. Strukturen skall även vara sådan att andra typer av material och miljöer senare skall kunna inarbetas. Exempel på sådana är golvmaterial i olika typer av inre miljöer (bostäder, skolor, offentliga lokaler etc).

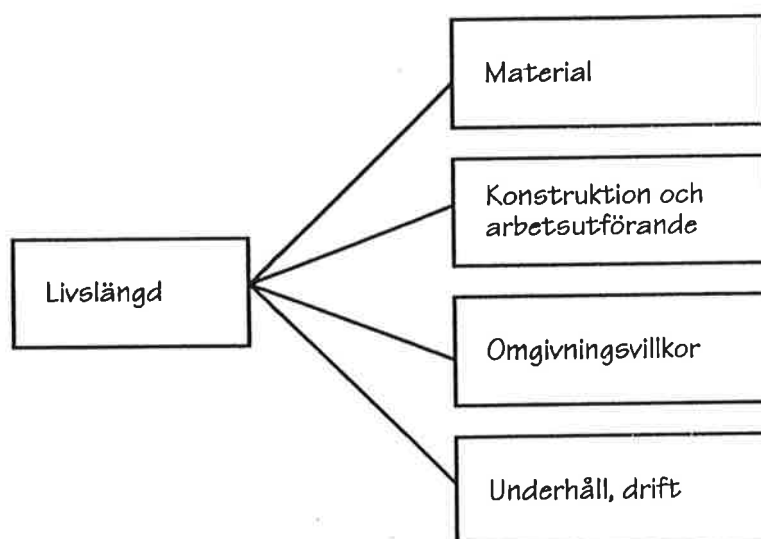
Rapportens primära målgrupp är personer som arbetar med livscykelanalys. Rapporten bör även kunna användas i samband med frågeställningar som t ex berör underhållsplanering av byggnader.

3

BEGREPPET LIVSLÄNGD

3.1 Allmänt

Ett byggmaterials livslängd är inte en materialegenskap. Livslängden beror på vilket sätt materialet utnyttjas i byggnadsverket, dvs dels på den funktion materialet har i byggnaden och dels på den miljö som materialet i denna funktion exponeras i. För en konstruktion bestäms livslängden av flera olika faktorer, Figur 3.1.



Figur 3.1 En konstruktions livslängd bestäms av flera faktorer [2], [32].

Traditionellt används begreppet *beständighet* för att beskriva byggmaterialens förmåga att stå emot de nedbrytande krafter, som de utsätts för. Begreppet säger dock ingenting om hur länge materialet kommer att fungera i den aktuella miljön. Dessutom ställs det ofta olika krav i olika materialfamiljer. Ett plastmaterial kan t ex ha "hög beständighet" jämfört med andra plaster, som används inom samma område. Däremot kan det ha betydligt lägre beständighet än ett oorganiskt material, som jämfört med andra oorganiska material från samma materialfamilj, har relativt låg beständighet.

Problemen som är förknippade med detta traditionella sätt att utnyttja begreppet beständighet kan undvikas om man i stället använder begreppet *livslängd* [13]. Denna

kan nämligen kvantifieras genom att uttryckas i år. Livslängden är helt enkelt den tidsrymd under vilken alla de *funktionskrav* man kan ställa på materialet är uppfyllda. Två olika material, som har samma livslängd har därför samma beständighet. Det blir därför möjligt att kunna göra en rimligt rättvis jämförelse mellan två material ur helt olika materialfamiljer.

Begreppen livslängd och även *livslängdsdimensionering* har därför börjat användas alltmer. Inom ISO (International Organization for Standardization) pågår t o m ett arbete, som skall ge vägledning för livslängdsdimensionering, [22] och [23].

För att kunna göra en noggrann livslängdsberäkning krävs detaljerad kunskap avseende följande faktorer [13]:

1. Kvantifierade *funktionskrav*. De är lätta att formulera när det gäller t ex bärförmåga hos en konstruktion. De är dock mycket svåra att formulera när det gäller t ex estetisk nedbrytning (missfärgning, erosion av ytor etc). Man kan emellertid inte jämföra två material med varandra om man inte kan beskriva de krav man ställer på långtidsfunktionen.
2. Kvantifierade *miljöegenskaper*. För en utomhuskonstruktion är primära egenskaper exempelvis variation i temperatur och relativ fuktighet (RF), mängd och intensitet av slagregn etc. När det gäller konstruktioner inomhus är t ex RF-nivåer och temperaturer i fortvarighetstillståndet avgörande för många konstruktionsdelars beständighet.
3. Kunskap om *nedbrytningsmekanismen*, dvs om sambandet mellan miljön och materialet i den aktuella miljön. Dessutom måste eventuell synergism vara känd. (Synergism innebär att två faktorer, som inverkar samtidigt, förstärker varandras effekt och ger en totaleffekt, som är större än summan av de effekterna om de fått verka var för sig).
4. *Mät- och beräkningsmetoder* med vilka kunskap enligt punkt 1–3 ovan kan inhämtas och omsättas till en livslängdsberäkning. Detta innebär att man måste ha provningsmetoder, som mäter de olika delkomponenterna i en nedbrytning, eller som mäter hela nedbrytningsprocessen utan att denna accelereras.

Huvudfrågan är nedbrytningsmekanismen eftersom denna avgör vilka miljö- och materialegenskaper som är väsentliga. Dessutom bestämmer denna vilka provningsmetoder man bör använda respektive inte använda.

3.2 Krav på beständighet och livslängd

I BVL ("Lag om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, m.m."), 2 §, ställer samhället det övergripande kravet beträffande beständighet: "Byggnadsverk som uppförs eller ändras skall, under förutsättning av normalt underhåll, under ekonomiskt rimlig livslängd uppfylla väsentliga tekniska egenskapskrav i fråga om 1. bärförmåga, stadga och beständighet, 2. ...". Samma paragraf avslutas med följande: "Byggnadsverk skall underhållas så att deras egenskaper i de hänseenden som avses i första stycket i huvudsak bevaras".

Texten avseende kravet på ekonomiskt rimlig livslängd gör inte skillnad på om den avser bärande eller inte bärande konstruktioner. Inte heller om konstruktionerna är åtkomliga eller inte för inspektion enbart eller också för underhålls- eller utbytesåtgärder. Primärt är alltså att de väsentliga egenskapskraven uppfylls och att ett erforderligt normalt underhåll utförs för att bevara egenskaperna. Detta skall ske till "ekonomiskt rimliga kostnader". Detta bör tolkas så att ju dyrare eller ju svårare en detalj är att komma åt för inspektion, underhåll eller utbyte, desto mer beständig förutsätts den vara.

I BKR 94 [6], 2:13 sägs: "Byggnadsdelar och material ingående i bärande konstruktioner skall antingen vara beständiga eller kunna skyddas och underhållas, så att kraven i brottgräns- och bruksgränstillstånd uppfylls under byggnadens livslängd".

I rådtext sägs att "Med livslängd avses den vid dimensioneringen förväntade tid under vilken konstruktionen med normalt underhåll uppvisar erforderlig funktionsduglighet".

Med hänsyn tagen till olika säkerhetsklasser sägs även i rådtext att livslängden bör vara minst 50 år för byggnadsdelar som är åtkomliga för inspektion och underhåll. Livslängden bör vara minst 100 år för byggnadsdelar, som inte är åtkomliga för inspektion och underhåll.

I BKR 94 finns dessutom krav på beständighet för geo-, trä-, murverks-, betong- och stålkonstruktioner. Formuleringarna är dock mycket kortfattade och allmänt hållna. Inga krav avseende livslängd anges.

Vägverket ställer i Bro 94 [43] krav på en lägsta livslängd av 120 år för underbyggnaden och 60 år för överbyggnaden. I detta fallet avses då enbart funktionen bärförmåga.

En enskild byggherre önskar naturligtvis hög beständighet och låga underhållskostnader. Normalt kvantifieras inte livslängdskraven och vägs sällan mot byggkostnaden. Materialvalet i byggskedet bestäms snarare av en låg investeringskostnad än hög livslängd och låga underhållskostnader. Större byggherrar kan naturligtvis göra mer

kvalificerade investeringskalkyler där underhållskostnader vägs mot investeringskostnader och förräntningskrav.

3.3 Definitioner

Projektets syfte är, enligt ovan, att sammanställa befintligt vetande om byggmaterials livslängd i olika miljöer. Ovan har även begreppen "beständighet" och "livslängd" diskuterats. Men vad menas egentligen med ett "byggmaterials livslängd"?

I BBR 94 [5], eller de Byggvägledningar som finns utarbetade till detta dokument, finns ingen hjälp att få. Det närmaste man kommer är uttrycket "ekonomiskt rimlig livslängd", som definieras på följande sätt:

1. "Livslängden är den tidsperiod under vilken byggnadsverkets prestanda bibehålls på en nivå som innebär att de väsentliga kraven uppfylls.
2. En ekonomiskt rimlig livslängd förutsätter att alla väsentliga aspekter beaktas som till exempel
 - kostnader för projektering, uppförande och användning
 - kostnader på grund av hinder för användning
 - ...

Denna skrivning gäller dock enbart för byggnadsverk, som är "allt som byggs eller har sitt ursprung i byggverksamhet och som är fast förankrat i marken", dvs byggmaterialen i sig exkluderas, men ingår naturligtvis i varje byggnadsverk.

TNC 95, Plan- och byggtermer 1994 [38], ger dock en viss vägledning. Dock ges ingen definition för livslängd i sig, utan hänvisning sker till "ekonomisk" och "teknisk livslängd".

Ekonomisk livslängd: "Tidsperiod under vilken en byggnad, anläggning eller del därav är lönsam. Bedömning av en byggnads ekonomiska livslängd måste ske med beaktande av ett optimalt användande av byggnaden samt av förräntningskrav och markens alternativa användning".

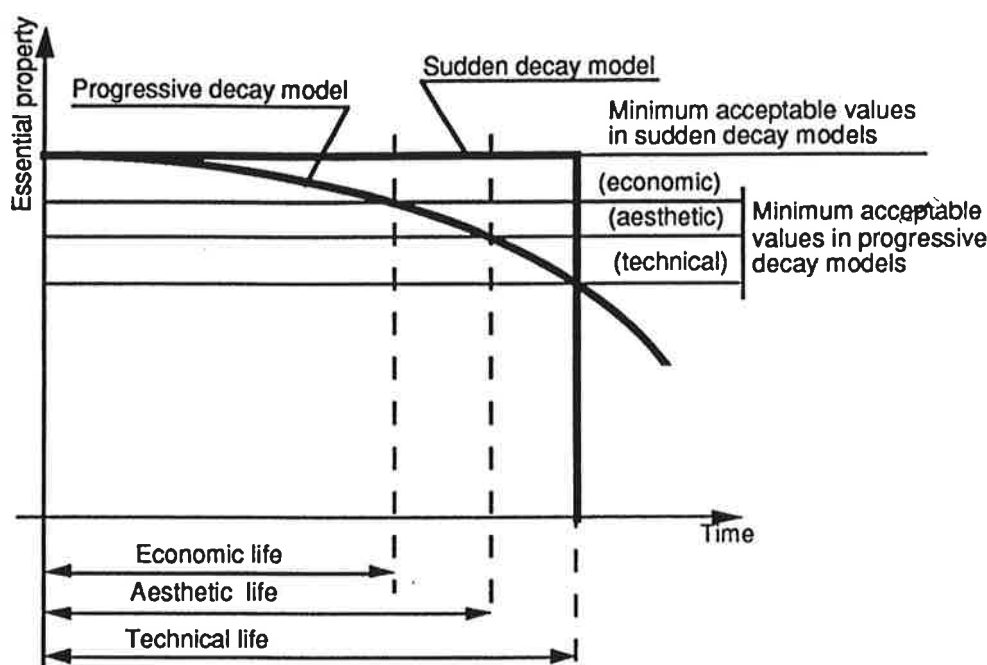
Teknisk livslängd: "Tidsperiod under vilken en byggnad, anläggning eller del därav med normalt underhåll kan utnyttjas för avsedd funktion".

Även i [3] noteras behovet av en närmare precisering av de begrepp som används i fastighetsförvaltningens olika skeden. Där sägs att "livslängden kan sägas vara tiden för bibehållen teknisk och ekonomisk funktion hos en komponent". Vidare att "brukstiden är dess praktiska användningstid".

I [3] definieras även *underhållsintervall* som "är detsamma som brukstiden för en begränsad del av en större funktion, t ex den tid som målningen på en träfasad varar".

TNC 95 [38] ger en mer officiell definition av *brukstid*: "Tidsperiod under vilken en byggnad, anläggning eller del därav kan användas för sitt ändamål utan andra åtgärder än normalt underhåll och åtgärder för att främja en rationell och ekonomisk drift".

Det finns således officiella definitioner av ett antal relevanta begrepp i sammanhanget. Trots detta måste begreppet livslängd ytterligare preciseras. I [39] finns som exempel livslängd endast under rubriken "Livslängd hos målningskydd" som definieras som den "tidrymd efter vilken *rostskyddsgraden* hos en målad stålyta nedgått till ett överenskommet värde".



Figur 3.2 Begreppet livslängd [36].

I [36] noteras samma brist på officiell terminologi i ämnet. Där sammanfattas dock de olika begreppen enligt Figur 3.2 ovan.

I en RILEM-rekommendation [27] definieras ett byggmaterials livslängd på följande sätt: "The period of time after installation during which all essential properties meet or exceed minimum acceptable values, when routinely maintained".

Mot bakgrund av ovanstående diskussion definieras begreppet "livslängd hos byggmaterial" i föreliggande rapport på följande sätt: *Livslängd hos byggmaterial är den tidsperiod efter vilken materialen når en funktion som är oacceptabel*. När detta tillstånd har nåtts krävs således någon form av åtgärd (utbyte, rivning, underhåll, etc). Vid bedömning av tidsperiodens längd skall följande faktorer vägas in:

- *Materialens bärformåga*
- *Klimatskydd*
- *Utseende och estetik*
- *Hälsa och säkerhet*
- *Behov av underhåll och reparation.*

Denna definition kan exemplifieras på följande sätt:

Materialens bärformåga. I en stomme av trä kan i fuktig miljö lokala rötskador uppstå. Detta kan i sin tur äventyra stommens bärformåga.

Klimatskydd. Tätskiktsmattor (takpapp) åldras bl a på grund av inverkan av solens värme och UV-ljus. Pappen försprödas och spricker därför lätt. På så sätt uppstår läckage i takkonstruktionen.

Utseende och estetik. En målningsbehandling på en träfasad bryts ned på grund av inverkan från omgivande klimat. Normalt klarar sig underliggande träpanel trots detta relativt väl. Emellertid förlorar ytan en stor del av sin estetik.

Hälsa och säkerhet. Successiv sönderfrysning och sprickbildning av t ex gesimser i en tegelfasad kan medföra nedfall av tungt stenmaterial.

Behov av underhåll och reparation. Om underhållet av ett träfönster blir eftersatt kan skadorna på fönstret bli så stora att fönstret i sin helhet måste bytas ut. Ett regelbundet underhåll hade givit fönstret en högre livslängd.

NEDBRYTNINGSMEKANISMER

4.1 Allmänt

Alla byggmaterial utsätts i sin användning för olika former av nedbrytande krafter. Processerna kan ske långsamt eller snabbt beroende på materialets sammansättning och struktur samt den miljö det exponeras i. Material och materialkombinationer, som i en miljö kan ha mycket hög livslängd, kan i en annan miljö nedbrytas mycket snabbt och förstöras. Materialens förmåga att motstå dessa nedbrytande processer kallas *beständighet*.

Ibland används begreppet *åldring* om långsamt fortskridande materialförändringar. Begreppet är inte synonymt med någon viss angreppsform och det är heller inte väldefinierat. I allmänhet menar man med åldring en förändring av utseende eller egenskaper, som beror på kemiska processer och som inte innebär någon påtaglig förstörelse. Man kan t ex säga att en utvändig yta åldras mer eller mindre vackert. Det kan gälla grön ärg på kopparplåt, mörknande färg på taktegel etc. Åldring hos plastmaterial kan innebära att de blir sprödare och därför mera skadekänsliga.

Materialens begränsade livslängd behöver inte nödvändigtvis vara kopplad till en nedbrytning av materialet. Livslängden kan också begränsas av att en väsentlig egenskap hos materialet går förlorad eller förändras så mycket att materialet inte längre fyller sin funktion. Ett exempel är värmeisoleringsförmågan hos ett värmeisolerande material. Denna kan försämrats med tiden genom att materialet absorberar fukt eller på grund av att en materialkomponent, t ex en drivgas, avgår ur materialet. Sådana förändringsmekanismer, som inte innebär en regelrätt nedbrytning, måste också kunna kvantifieras för att avgöra materialets livslängd.

Livslängden hos byggmaterial är dels beroende av materialens uppbyggnad och sammansättning, dels av den miljö där de exponeras. För att bättre kunna förstå sambanden mellan dessa faktorer skall de viktigaste nedbrytningsmekanismerna genomgå i detta kapitel.

Nedbrytningsmekanismerna kan indelas efter flera olika principer. Här kommer mekanismerna att indelas efter deras grundläggande natur. Man kan då tala om fem huvudgrupper:

1. Kemiskt angrepp
2. Elektrokemiskt angrepp
3. Fysikaliskt angrepp
4. Biologiskt angrepp
5. Strålningsangrepp

Gränsdragningarna mellan dessa huvudgrupper kan naturligtvis vara oklara, och ofta sker nedbrytningen av ett material genom kombinerade effekter, som kan hänföras till flera av dessa grupper. I många fall uppträder dessutom *synergism* (jfr ovan), som komplicerar bilden avsevärt.

4.2 Kemiskt angrepp

Den enklaste formen av ett kemiskt angrepp uppstår när ett material kommer i kontakt med en vätska, som kan lösa ur materialet vissa för detta väsentliga ämnen. Man kan kalla detta för *angrepp genom lösning*. Lösningsmedlen kan vara neutrala som rent vatten, sura eller basiska vattenlösningar eller organiska lösningsmedel som xylén, aceton etc.

Principiellt gäller att ett ämne löses lättast i ett lösningsmedel, som i uppbyggnad och egenskaper är närliggande detta. Exempelvis är organiska material mest känsliga för organiska lösningar. Vidare gäller att material, som är uppbyggda av små molekyler löses lättare än ämnen, som består av stora molekyler. Dessutom gäller att lösningshastigheten ökar med ökande temperatur.

De flesta material har hög resistens mot angrepp av rent vatten, medan vattnets angreppsförmåga ökar avsevärt med dess innehåll av lösta salter och föroreningar. Ett exempel på att även rent vatten i vissa fall kan vara nedbrytande, gäller vissa betongkonstruktioner. Betongen innehåller en viss mängd fri kalciumhydroxid. Denna är vattenlöslig. Om betongen är porös och utsätts för genomströmmande vatten, kommer vattnet att föra ut den fria kalciumhydroxiden ur betongen. Detta medför att materialet successivt bryts ned.

Några andra exempel på kemiskt angrepp är:

- Syror angriper cementbundna material.
- Luftens koldioxid angriper betong, s k *karbonatisering*.
- Alkalier kan angripa vissa plaster.
- Ozon (O_3) i luften angriper vissa gummimaterial med sprickbildning som följd.
- Lösningsmedel angriper vissa typer av plaster och målarfärger.

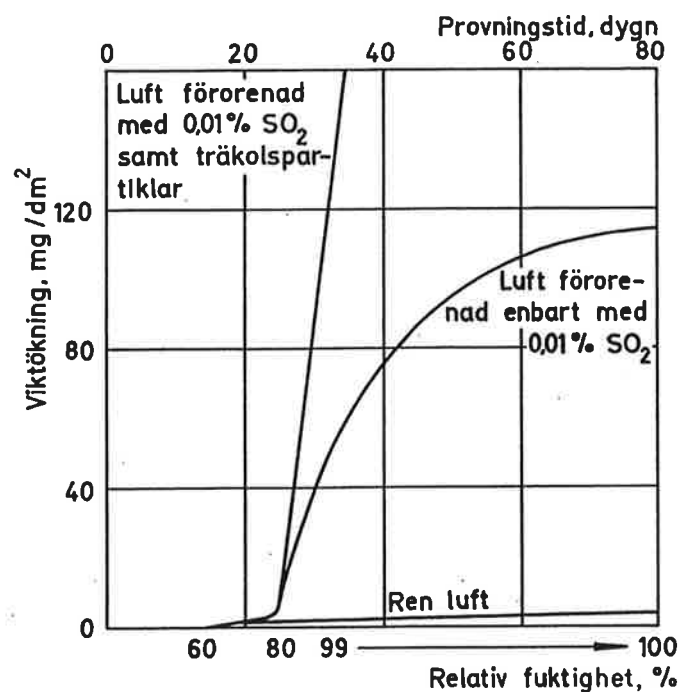
4.3 Elektrokemiskt angrepp

Angrepp som hänförs till gruppen elektrokemiska angrepp är i första hand korrosion på metaller. Begreppet "korrosion" har ej någon allmänt vedertagen avgränsning till att gälla vissa former av angrepp på vissa material. En vanlig avgränsning av begreppet är dock, att man säger att korrosion är ett angrepp på metaller och legeringar genom huvudsakligen elektrokemiska reaktioner mellan materialet och dess omgivning.

De flesta metaller finns i sitt naturliga tillstånd som föreningar av typen sulfider, sulfater, oxider osv. De förädlas från detta tillstånd genom kemisk reduktion genom tillförsel av energi. Metallerna visar sedan en tendens att vilja återvända till sitt mera energifattiga tillstånd. Korrosionsprocessen kan därför betraktas som en process direkt motsatt framställningsprocessen. Detta är således en fullt naturlig process. Frågan om metallernas livslängd blir därför en fråga om, i vilken mån man genom lämpliga åtgärder kan få denna process att gå tillräckligt långsamt, så att metallerna skall kunna utnyttjas för sina ändamål.

För att korrosion skall uppstå måste tre förutsättningar vara uppfyllda. Det skall finnas tillgång till

- elektrolyt
- potentialskillnad
- syre (elektronacceptor)



Figur 4.1 Exempel på inverkan av luftföroreningar och relativ fuktighet på rostning av stål [10].

Elektrolyten består normalt av vatten. Rent vatten fungerar som elektrolyt, men verkan förstärks om vattnet innehåller lösta salter. Vattnet kan förekomma i form av en mycket tunn hinna, t o m så tunn att man upplever metallytan som torr. Tjockleken hos detta adsorberade skikt växer med den relativa luftfuktigheten. Vid ca 60 à 70 % RF blir skiktjockleken så stor, att vattenhinnan börjar fungera som en elektrolyt. Rostning av stål kan alltså äga rum så snart RF överstiger ca 60 %. Dock fordras betydligt högre RF för att korrosionshastigheten skall bli påtaglig.

Om en metallyta är förorenad av salt, smutspartiklar e dyl ökar korrosionen dels därför att mängden adsorberat vatten ökar, dels därför att elektrolytens ledningsförmåga ökar, se Figur 4.1.

Potentialskillnad kan uppstå på grund av varierande sammansättning hos metallen eller elektrolyten. Även hos en skenbart homogen metall finns potentialskillnader mellan olika punkter på ytan. Detta beror på att alla metaller består av enskilda kristaller eller korn. Dessa kan ha något olika sammansättning med potentialskillnad som följd. På varmvalsat stål kan man dessutom ha en oxidbeläggning, s k valshud eller glödska. Denna beläggning är ädlare än stålet och därför uppstår potentialskillnader.

Elektronacceptor är i de flesta fall syre. Om elektrolyten innehåller en syra kan i stället vätejoner fungera som elektronacceptor. Elektronacceptorn förbrukas vid korrosionsprocessen. Om inte hela tiden ny elektronacceptor tillförs upphör så småningom korrosionen.

4.4 Fysikaliskt angrepp

Fysikaliska angrepp på byggmaterial uppstår på grund av frostsprängning, saltsprängning samt temperatur- och fuktrörelser. Alla typerna av angrepp är huvudsakligen av betydelse för porösa stenmaterial, dvs natursten, betong, tegel, autoklaverad lättbetong, puts etc.

Frostsprängning uppstår när vatten i materialets porer fryser till is. Då ökar vattnet sin volym med 9 %. Volymökningen sker med så stor kraft, att den utan svårighet kan spränga sönder alla typer av stenmaterial. För att skador inte skall uppstå måste vattnet vid frysningen kunna utvidgas utan nämnvärt motstånd. Ett material vars porer är helt vattenmättat fryser nästan undantagslöst sönder när det utsätts för frost. Om däremot en del av porsystemet innehåller luft kan vattnets volymutvidgning ske utan större motstånd. Avgörande för om ett material frostskaas eller inte är därför hur stor andel av porsystemet som är vattenfyllt.

Betong kan göras frostbeständig med hjälp av tillsatsmedel, som gör att mängder av små sfäriska luftporer bildas med ett litet avstånd från varandra.

Saltsprängning kan uppstå genom att salter ansamlas i porerna på vissa ställen i materialet. När vattnet avdunstar kristalliserar det lösta saltet. Då kan ett så stort kristallisationstryck uppstå att materialet spjälkas.

Temperatur- och fuktrörelser kan ge så stora spänningar i ytan av material, att de orsakar sprickbildningar. Detta gäller särskilt vid stora variationer, t ex regn på en solvarm yta.

4.5 Biologiskt angrepp

Med biologiskt angrepp menas att levande organismer eller mikroorganismer från djur eller växtvärlden direkt eller indirekt angriper material.

Trä ger i vårt land de mest kända exemplen på biologiskt angrepp. Under trädets livstid, under lagring på upplagsplatsen och i den färdiga byggnaden, kan trä angripas av olika virkesförstörande organismer. Nedbrytningen av trä (och annat växtmaterial) ingår som en naturlig del av kolets kretslopp. När vi använder trä som ett byggmaterial kan detta betraktas som att vi temporärt undandrar virket ur kretsloppet.

Mikroorganismer som orsakar röta är ansvariga för den största andelen av träets nedbrytning. Även insekter bidrar, dock i väsentligt mindre omfattning.

Biologiskt angrepp, i form av angrepp av svampar, förekommer även på plastmaterial.

Det normala skyddet mot biologiskt angrepp är att kontrollerat skydda träbaserade material mot fukt. Impregnering med olika typer av ämnen kan användas i svåra miljöer.

4.6 Strålningsangrepp

Alla byggmaterial utsätts under sin användning för olika typer av strålning. Om strålningen påverkar materialegenskaperna i skadlig riktning kan man tala om *strålningsangrepp*. För normala byggnader är solstrålning den enda väsentliga strålningen. Denna påverkar bara organiska material på så sätt att molekylstrukturen ändras. Ändringen kan innebära att kemiska bindningar bryts, varvid materialet blir sprödare. Även påtagliga färgförändringar kan uppstå.

Det är framför allt UV-ljus (ultraviolett) som påverkar de organiska materialen. Detta beror på att strålningens energiinnehåll per ljuskvantum är högre ju kortvågigare strålningen är. För att skydda mot UV-strålning måste man till många typer av plastmaterial tillsätta särskilda UV-absorbenter.

BYGGMATERIAL - HUVUDGRUPPER

5.1 Allmänt

I Kapitel 5 indelas materialen i ett antal huvudgrupper. Detta görs för att skapa en systematik, som kan användas längre fram vid beskrivningen av livslängden hos olika material. I kapitlet beskrivs även de olika materialens uppbyggnad kortfattat. Syftet med detta är att kunna koppla materialens uppbyggnad till de nedbrytningsmekanismer, som respektive materialgrupp kan utsättas för. Kunskap om dessa mekanismer kan användas för att i förekommande fall öka träffsäkerheten vid bedömning av livslängden hos olika byggmaterial.

5.2 Cement- och/eller kalkbundna material

5.2.1 Betong

Betong är ett av våra viktigaste byggmaterial. I husbyggnader används betong framför allt till pelare, balkar, bjälklag, bärande väggar etc. I anläggningsbyggande används betong i broar, vattentorn, dammar osv.

Betongens huvudbeståndsdelar är ballast (sten, grus och sand), cement, vatten och ofta någon form av tillsatsmedel. Cement plus vatten kallas för *cementpasta* (ibland cementlim). Denna utgör betongens bindemedel, eftersom pastan binder ihop ballastkornen. Hårdnandet sker genom en kemisk reaktion mellan cement och vatten. Genom att variera proportionerna mellan de ingående beståndsdelarna kan man framställa betong med högst varierande egenskaper.

Cementpastans egenskaper bestäms huvudsakligen av kvoten mellan vikt vatten och vikt cement, det så kallade *vattencementtalet*, förkortat *vct*. Ju mer vatten man spär ut cementpastan med, desto sämre blir betongen och desto lägre blir livslängden.

Betong är i de flesta byggnadstekniska sammanhang ett mycket beständigt material med lång livslängd. Det finns dock ett antal uppmärksammade fall där betongen har brutits ned efter en relativt kort tid. En omfattande beskrivning av betongens beständighet ges i [14]. Av de nedbrytningsmekanismer som beskrevs i Kapitel 4 är det framför allt de kemiska och fysikaliska, som är aktuella för betong.

I samband med kemiska angrepp skiljer man mellan två olika typer av angrepp: dels ämnen som löser upp betong, dels ämnen som tränger in i betongen och reagerar med denna. Betongens förmåga att motstå dessa angrepp bestäms av betongens kemiska uppbyggnad och dess permeabilitet.

Oorganiska syror, t ex svavelsyra och saltsyra i höga koncentrationer, löser komponenterna i cementpastan. Bland organiska syror som angriper betong kan mjölksyra nämnas. Denna finns bl a i avloppsvatten från mejerier.

Angrepp av syror sker från ytan. En viktig skyddsåtgärd är därför att använda en tät betong, dvs en betong med lågt vct vilket uppnås genom att använda en hög cementhalt.

Betong kan även förstöras av rent vatten, t ex mjukt vatten från avsmältning, om detta får strömma igenom betongen, jfr Kapitel 4.2. Vattnet löser då ut och transporterar bort ämnen i betongen, som på så sätt förstörs på grund av att cementpastan bryts ned. Även här är en tät betong den viktigaste skyddsåtgärden.

Frostangrepp är den i vårt land absolut vanligaste formen av fysikaliskt angrepp, Kapitel 4.4. Problemet har stor aktualitet för betongkonstruktioner, som utsätts för frost och samtidigt kan vattenanrikas. Speciellt svårt blir frostangreppet om salter (t ex natrium- eller kalciumklorid) finns närvarande.

Betongens frostbeständighet förbättras med inblandning av luftporbildande tillsatsmedel. Även en sänkning av vattencementtalet ($< ca 0,55$) förbättrar frostbeständigheten. Med rätt luftinblandning kan betong få en i det närmaste "oändlig" livslängd med avseende på frostangrepp. Utan luftinblandning kan livslängden inskränka sig till en vinter!

5.2.2 Armerad betong

Betongens förmåga att klara dragpåkänningar är mycket begränsad. Normalt gjuts därför armeringsstål in i betongen. Ett stål som är väl ingjutet i betong rostar inte på grund av den höga alkalitet, som råder inne i betongen ($pH > 12,5$).

Det passiverande ytskikt, som stålet får i denna miljö, kan dock förloras om cementpastan *karbonatiseras*. Detta innebär att koldioxid från luften tränger in i betongen och reagerar med kalciumhydroxid, som finns i betongen. Då sänks pH-värdet, vilket medför att passiveringen går förlorad varefter korrosionsprocessen startar.

Tiden till korrosionen startar och korrosionshastigheten är i hög grad beroende av betongens täthet mot koldioxid, mängden kalciumhydroxid och avståndet mellan betongens yta och stålet (=täcksikt). Redan på konstruktionsstadiet kan man därför planera för en lång livslängd genom att välja en betong med lågt vct och ett täcksikt, som är tillräckligt stort.

Korrosion av armering kan även starta i okarboniserad betong. En vanlig orsak till detta är att kloridjoner från t ex avisningssalt har kommit in i betongen. Här fordras ännu lägre vct för att ge acceptabla livslängder. I hus är detta aktuellt för t ex balkonger, trappor, loftgångar etc, som kan riskeras utsättas för tössalter.

5.2.3 Lättbetong

Gruppen lättbetong täcker en hel grupp av tämligen olika byggmaterial. De har dock ett gemensamt, nämligen att de i likhet med betong är sammansatta av ett bindemedel (som regel cement och kalk) blandat med vatten och tillsatsmaterial av olika kornstorlek, densitet och ursprung. Skrymdensiteten för dessa byggmaterial är avsevärt lägre än för betong.

Den i Sverige absolut vanligaste lättbetongen är *autoklaverad lättbetong* (varumärken Siporex och Ytong). Den framställs alltid i fabrik i form av ett finkornigt, poröst material, där det synliga porsystemet har åstadkommit genom gasutveckling i den färska massan. Materialet tillverkas med densitet ca 400 – 600 kg/m³ och säljs i form av block och armerade element. Materialet är sprött och har på grund av den låga densiteten naturligtvis även låg hållfasthet.

Kunskaperna om materialets beständighet är dock inte så omfattande som i fallet betong. De principiella sammanhangen rörande kemisk beständighet är dock desamma som för betong. Vid autoklaveringen (ånghärdning under högt tryck och hög temperatur) fixeras emellertid den bildade kalciumhydroxiden till stor del av kisel syran. Materialets höga porositet medför att ett eventuellt angrepp inte begränsas till ytan. Tillverkarna rekommenderar därför att materialet skyddas när det skall användas i aggressiv miljö, t.ex. i atmosfär med syraångor eller hög halt av svaveldioxid eller koldioxid.

Materialet har normalt god frostbeständighet. Om lättbetongen utsätts för mycket kraftigt regn, läckande stuprör osv kan dock frostproblem uppstå.

Den höga porositeten innebär också att ingjuten armering inte skyddas mot korrosion. Stålet förses därför med en korrosionsskyddande behandling före ingjutning. Korrosionsskyddet är dock inte tillräckligt om materialets fuktillstånd långvarigt är högt. Därför måste man undvika kraftig uppfuktning och även undvika att under längre tid stänga in leveransfuktigt material mellan täta skikt.

Lättballastbetong påminner i stor utsträckning om normal betong. Den stora skillnaden är att lättballastbetong innehåller lättklinker (t ex "Leca-kulor"), eller annan lätt ballast, i stället för den normala betongens sten. Man får då ett material, som är lättare än betong men som har den vanliga betongens utseende och täthet.

5.2.4 Puts- och murbruk

Puts- och murbruk består av en blandning av bindemedel, ballast (sand och grus), vatten och tillsatsmedel. Murbruket används för att sammanfoga murstenar (t ex av tegel) till ett murverk. Putsbruket används för att ge den bakomliggande väggen ett visst klimat-skydd samtidigt som vissa estetiska effekter kan uppnås.

Det finns flera olika typer av bindemedel som används till bruk. De vanligaste är dock kalk och/eller cement. Kalk är det klassiska bindemedlet medan cement började användas i bruk ungefär vid mitten av detta sekel.

Utgångsmaterialet för kalken är kalksten, som efter diverse processer överförs till s k släckt kalk, som är bindemedlet i ett *kalkbruk* (*K-bruk*). Ett kalkbruk hårdnar i två skeden. I det första sker en uttorkning som ger en viss, dock ej permanent, hållfasthet åt bruket. I det andra skedet reagerar luftens koldioxid med kalciumhydroxid i bruket varvid kalciumkarbonat bildas. Denna process kalla *karbonatisering* (jfr Kapitel 5.2.2) och ger bruket dess egentliga hållfasthet. Processen är dock mycket långsam. Under gynnsamma förhållanden tar det, som exempel, ca en månad för att en 10 mm tjock puts skall bli genomkarbonatiserad.

Ett *cementbruk*, *C-bruk*, hårdnar genom att bindemedlet reagerar kemiskt med vatten. Den kemiska reaktionen börjar direkt efter vattentillsatsen och går sedan relativt fort.

Ett *kalkcementbruk*, *KC-bruk*, innehåller både kalk och cement som bindemedel. Hårdnandet av de båda bindemedlen sker i princip var för sig. Det är dock primärt cementet, som ger hållfastheten medan kalken ger bruket den önskade smidigheten.

Frostbeständigheten varierar kraftigt med bindemedelstypen. Cementbruk har normalt god frostbeständighet utan tillsatsmedel. Kalkbruk har däremot väsentligt sämre frostbeständighet. Denna kan dock förbättras med hjälp av luftporbildande tillsatsmedel.

5.2.5 Kalksandsten

Kalksandsten är ett stenmaterial, som tillverkas av finmalen osläckt kalk och kvartsrik sand eller krossad sandsten. Råmaterialen blandas med vatten till en massa, som formas och pressas till murstenar. Vid vatteninblandningen sker en kemisk reaktion under värmeutveckling. Efter pressningen sker en ånghärdning i autoklav varvid ytterligare kemiska reaktioner skapar det nya stenmaterialet.

Frostskador kan uppstå i murverk med kalksandsten om murverket blivit kraftigt vattenmättat. Detta kan inträffa i fristående, oskyddade murar, oskyddade murkrön eller väggar som omger fuktiga utrymmen.

Eftersom kalksandsten innehåller kalciumsilikater kan den angripas av syror och salter. Dessa kan orsaka sprickbildningar, avflagningar och ytsprängningar i stenen.

5.3 Keramiska material

5.3.1 Fasadtegel

Råmaterialet till tegel utgörs i huvudsak av lera. Ofta tillsätts andra material som t ex sand, tegelkross, sågspån etc. Tegelsten formges numera nästan uteslutande genom att lerblandningen i en kontinuerlig sträng pressas genom munstycken, som ger produkterna önskad form. Efter uppkapning i enheter sker sedan en eventuell ytbehandling.

Materialet torkas och bränns sedan vid ca 1000 à 1100°C. Vid denna temperatur uppstår en sintring i kontaktpunkterna mellan de enskilda lerpartiklarna. Denna smältning kittar ihop de enskilda partiklarna efter avsvälning.

Alla keramiska material är mycket beständiga mot kemiska angrepp. Under vissa förhållanden kan en sekundär effekt av kemisk art förekomma, nämligen saltutslag på tegelmurverk. Dessa uppstår när vatten, som innehåller salter, avdunstar från ytorna varvid salterna kristalliserar och bildar mer eller mindre vattenlösliga ytskikt på teglet. Dessa kan också förorsaka avflagningar på teglet eller avsprängning av puts. I de flesta fall rör det sig dock om relativt ofarliga ytbeläggningar, som kan tvättas bort.

På murverk med fasadtegel kan ibland omfattande frostangrepp uppstå. Ibland kan även enstaka stenar frysa sönder. Ett flertal undersökningar visar att höjd bränningsgrad (hög bränningstemperatur) ökar frostbeständigheten hos tegel.

5.3.2 Taktegel

Taktegel förekommer av två typer, nämligen strängpressat taktegel och formpressat falstaktegel. Det senare är försett med falsar eller rännor längs kanterna. Dessa hakar i bredvidliggande panna och ger på så sätt ett tätare tak.

Frostskador på taktegel förekommer relativt ofta; fuktbelastningen är ju betydligt större än för fasadtegel. Här är det därför ännu viktigare med en hög bränningsgrad om teglet skall bli frostbeständigt.

5.4 Metaller

5.4.1 Järn och stål

Stål är en legering med järn som basmaterial och som innehåller kol (normalt under 2 %) och andra grundämnen. Genom att variera kolhalten och övriga legeringsämnen kan stålets hållfasthet, seghet och andra viktiga egenskaper förändras. För att få en stor seg-

het är kolhalten i normalt byggnadsstål alltid lägre än 0,8 %, ofta väsentligt lägre. Av stålet tillverkas profiler, plåt osv.

Allt låglegerat, obehandlat stål rostar om det utsätts för ett klimat där den relativa fuktigheten överstiger ca 60 %, jfr Figur 4.1. Detta betyder att stålet inte rostar i normalt inomhusklimat. Utomhus uppstår däremot korrosion, som ökar vid närvaro av föroreningar, svaveldioxid och klorider. Detta innebär att allt stål som används utomhus måste korrosionsskyddas.

Den vanligaste rostskyddsmetoden är målning. Förbehandlingen av stålet, färgmaterialet, skiktjockleken och arbetsutförandet påverkar i hög grad rostskyddssystemets kvalitet.

Vid sidan om rostskyddsmålning är förzinkning den vanligaste metoden för korrosionsskydd av stål. Många gånger kombineras en zinkbehandling med en täckmålning. Detta gäller t ex för stål som används till tak och fasader.

Lokala skador på korrosionsskyddet kan minska plåtens livslängd mycket påtagligt. Den miljö där byggnaden finns, se Tabell 6.1, bestämmer i hög grad livslängden.

5.4.2 Aluminium

Ren aluminium har låg hållfasthet. I de kvaliteter som utnyttjas praktiskt har hållfastheten höjts genom legering ofta kombinerad med värmebehandling eller kallbearbetning.

Aluminium valsas till plåt, som används som tak- och väggmaterial. Aluminium kan också strängpressas till profiler, som t ex används till fönster, dörrar etc.

Aluminium är en mycket oädel metall. Trots detta är beständigheten mot korrosion god. Det beror på att det på ytan bildas ett tunt, men starkt och tätt oxidskikt, som skyddar metallen. I ren atmosfär sker därför ingen påtaglig korrosion. I stads- och industriatmosfär samt i kontakt med klorider sker dock en kraftig korrosion. Denna ytrar sig ofta i form av punktfrätning, som gör ytan småknottrig.

Aluminium korroderar även i alkalisk miljö, t ex i kontakt med nygjuten betong. Man bör undvika att bygga samman aluminium med koppar och även undvika att kopparhaltigt vatten får rinna ner på en aluminiumyta. I sådana fall kan annars besvärande korrosion uppstå.

Beständigheten mot korrosion kan förbättras genom att oxidskiktet förstärks på elektrolytisk väg, s k *anodisering* (eloxering). I samband med denna process kan även en viss infärgning utföras.

Den lackering som sker av aluminium som används till tak och fasader utförs ofta av estetiska skäl.

5.4.3 Koppar

Koppar är en relativt ädel metall, som har god beständighet under normala betingelser. Som byggmateriäl används koppar till takbeklädnad, hängrännor, stuprör, fönsterbleck osv.

Utomhus överdras koppar efter några månader av ett mörkbrunt oxidskikt. Efter lång tid kan ytans färg övergå i grön *ärg*, som består av basiska kopparsalter (främst sulfat, men även klorid och karbonat). Bildningen av ärg sker i huvudsak endast på lutande ytor, som under längre perioder förblir fuktiga. Ärgen kan utvecklas redan efter några år i förorenad atmosfär i städer, men det kan ta flera tiotal år innan den utvecklas i ren atmosfär. Korrosionshastigheten är mycket låg varför koppar har en mycket hög livslängd.

5.5 Träbaserade materiäl

5.5.1 Massivt trä

Trä torde utan tvekan vara det byggmateriäl som har de äldsta traditionerna i vårt land. Materialet används för de mest skiftande ändamål; stomkonstruktioner, ytter- och innerväggsbeklädnader, fönster, dörrar etc.

Trä sorteras och klassas med hänsyn till utseende (snickerivirke) och med hänsyn till hållfasthet (konstruktionsvirke). Materialet produceras ju av naturen, men från det växande trädet till den användningsfärdiga trävaran genomgår det ett antal processer, som var för sig inverkar på kvalitet och ekonomi.

Under de senaste decennierna har en avsevärd förändring skett i sättet att använda trä för byggnadsändamål. Fingerskarvat virke och limträ är exempel på produkter som kunnat vidareutvecklas tack vare ny limningsteknik. S.k. "lätreglar" med flänsar av massivt trä och liv av t ex träfiberskivor är ett annat exempel.

I jämförelse med alla andra porösa byggmateriäl har trä vid normala relativa fuktigheter ett mycket stort fukttinnehåll. Detta beror på träets speciella uppbyggnad med i stammens längdriktning orienterade fibrer (i huvudsak bestående av cellulosamolekyler), som kan binda stora mängder vatten.

På grund av denna uppbyggnad uppstår, i synnerhet i tvärlid i träet, stora fukt- betingade deformationer när fuktutbyte sker med omgivningen. Dessa rörelser orsakar ofta sprickbildningar i ytbehandlingar på trä.

Trä som byggmateriäl kan angripas av olika virkesförstörande organismer, s.k. biologiskt angrepp (se Kapitel 4.5). De som orsakar röta är ansvariga för den största an-

delen av träets nedbrytning. Även insekter kan bidra, dock i väsentligt mindre omfattning. Alla mikroorganismer, som orsakar nedbrytning av trä, kräver för sin existens specifika villkor t ex i fråga om temperatur och fuktighet. Vissa av dessa villkor finns alltid uppfyllda, medan andra kan uppfyllas på grund av byggnadstekniska brister. Det kan gälla otillräcklig ventilation av fuktiga utrymmen, kondens, kombinationer med olämpliga ytbehandlingar mm. Om villkoren uppfylls, kan träet förstöras mycket snabbt. Det finns ett stort antal exempel på träfasader och fönster, som inom loppet av några år har fått omfattande skador orsakade av olika typer av rötsvampar.

I första hand gäller det att använda träet på ett sådant sätt och i sådan miljö att materialet h lls tillräckligt torrt, s k konstruktivt träskydd. En fuktkvot på ca 17   18 % brukar anses vara en övre gräns för acceptabelt fuktt neh ll. Om detta  r svårt att klara kan impregnerat virke användas för att  ka livslängden. Impregnerat virke tillverkas i fyra olika klasser [10], som var och en är avsedd för olika användningsområden.

5.5.2 Träbaserade skivmaterial

Träbaserade skivmaterial som t.ex. plywood, fiber- och spånskivor används i stor utsträckning.

Plywood består av ett antal fan rskikt som limmats ihop. Antalet fanér är alltid udda för att ytfan ren skall få samma fiberorientering. Plywood för utomhusbruk limmas med ett vatten- och v derbest ndigt lim.

Träfiberskivor tillverkas av träfibrer som pressas samman under högt tryck. Inga eller endast små mängder lim mnen tillsätts. Skivor som är avsedda för utomhusbruk  r även oljeh rdade. På senare år har träfiberskivor med större limm ngd börjat användas utomhus. Dessa s.k. *MDF-skivor* (Medium Density Fibreboard) används bl.a. f r utvändig beklädnad av ytterdörrar. Erfarenheterna från denna typ av användning är dock långt ifrån positiva.

Spånskivor tillverkas av träspån med tills ts av lim. Det finns även s k cementbundna spånskivor, där cementpasta (se Kapitel 5.2.1) används som bindemedel.

Generellt för alla träbaserade skivmaterial gäller att de uppvisar relativt stora fuktbetingade rörelser. Detta beror på tr fiberns speciella uppbyggnad, Kapitel 5.5.1. De fuktbetingade rörelserna  r speciellt stora i skivornas tjockleksriktning. Därför spricker ofta ytbehandlingar längs skivornas kanter, där vatten lätt tränger in. Detta nedsätter livslängden hos skivorna väsentligt.

5.6 Glas

Glas som byggmateriäl omfattar bl a fönsterglas, skivor för fasad- och takbeklädnad och invändig beklädnad.

Huvudbeståndsdelarna i glas indelas i glasbildare, flussmedel och stabilisatorer. Glasbildare är sådana oxider som vid avsvälning inte kristalliserar utan underkyls och bildar glas. Den vanligaste glasbildaren är kiseldioxid. Kwartssand, med stora krav på renhet, är den viktigaste råvaran.

Normalt planglas har hög kemisk resistens men angrips bl a av alkaliska lösningar. Silikatfärger eller vatten från färsk betong och bruk får därför inte komma i kontakt med planglas. Även rent vatten kan ibland angripa glas. Om vattnet blir instängt mellan två glasskivor kan detta vatten bli alkaliskt på grund av ett jonbyte mellan glas och vatten. Detta kan i sin tur orsaka en anlöpning av glaset, vilket innebär att glaset överdras av gråvita hinner.

Strålningsförlusterna genom glas kan reduceras om man på ytan applicerar tunna metalliska skikt med lämpligt valda optiska egenskaper. Dessa *lågemissionsglas* är selektiva. Detta innebär att den långvågiga rumsvärmestrålningen hindras att stråla ut, medan den kortvågiga solstrålningen endast marginellt påverkas av det metalliska skiktet. Vissa av dessa skikt är repkänsliga. En nyare typ av tennoxid anses vara mycket hård. Långtidsegenskaperna är dock okända.

Det finns två olika typer av *säkerhetsglas*, dels termiskt härdat glas och laminerat glas (lamellglas). *Härdat glas* tillverkas genom att färdigbearbetat glas värms för att därefter hastigt avkylas. På så sätt uppstår en tryckspänning i glasets ytor och en dragspänning i mitten. Denna förspänning ökar glasets böj- och draghållfasthet ca 5 gånger. Om härdat glas går sönder spricker det i ett mycket stort antal små bitar. Det förekommer även att härdat glas "spontangranulerar" på grund av inbyggda spänningar, som kan uppstå kring vissa inneslutningar i glaset.

Laminerat glas tillverkas genom att två eller flera glas läggs samman med en tunn mellanliggande plastfolie. Paketet pressas ihop under värmetillförsel. På så sätt erhålls en mycket stark vidhäftning mellan glas och plast och vid ett eventuellt glasbrott hålls bitarna samman av plastfolien. I kanterna är plastfolien oskyddad. Långtidsegenskaperna är dåligt utredda.

En *isolerruta* består av två eller fler glasrutor, som är åtskilda av slutna mellanrum fyllda med ren, torr luft eller andra gaser, t ex argon. Distansmaterialet är ofta av aluminium, som limmas mot respektive glasruta. Isolerrutor kan utformas för skiftande krav. Det finns isolerrutor med ljuddämpande, ljus- och värmereflekterande, inbrottskyddande och skottsäkra egenskaper. Det finns även brandklassade rutor, som ger skydd mot brand upp till två timmars påverkan.

Limmet som används mellan aluminium och glas kan vara mycket känsligt för solbestrålning (UV-ljus och värme). Livslängden hos en isolerruta är normalt kortare i fönster orienterade mot söder och väster jämfört med övriga väderstreck. Livslängden begränsas normalt av att fukt tränger in genom kantförseglingen. När fuktabsorbenten i distansmaterialet inte längre förmår absorbera inträngande fukt, stiger ånghalten mellan rutorna med kondens vintertid som följd. När detta inträffar är "livslängden" slut.

5.7 Polymera material

5.7.1 Termo- och härdplaster, elastomerer

Med en polymer menar man ett ämne, vars molekyler är uppbyggda av många återkommande molekyलगруpper. Polymererna kan vara av många olika slag. En plast får man genom att blanda en polymer med fyllmedel och tillsatsämnen.

Termoplaster är en grupp av material, som vid uppvärmning blir mjuka och formbara. När temperaturen sedan sjunker återfår materialet sina ursprungliga egenskaper. Detta kan upprepas i stort sett hur många gånger som helst. Exempel på termoplaster är polyvinylklorid (PVC), polymetylmetakrylat ("plexiglas"), polystyrén osv.

Härdplaster kan inte formas om efter uppvärmning. Det beror på att denna grupp efter formning härdas med tvärbindingar som ger en nätstruktur, som bibehåller sin hållfasthet även vid temperaturhöjning. Exempel på härdplaster är epoxi, polyester, polyuretan osv.

Som en speciell grupp av polymera material brukar *elastomerer* (gummi) räknas. Dennas struktur påminner om härdplasternas. Elastomerernas tvärbindingar är dock glesare och deformera. Gummimaterialen blir av den anledningen töjbara och återgår efter belastning nästan helt till ursprunglig längd. Exempel på elastomerer är EPDM-, kloropren- och silikongummi.

Beständigheten hos de polymera materialen beror i mycket stor utsträckning på polymerens egenskaper. Olika typer av tillsatsämnen används för att påverka egenskaperna och öka livslängden. UV-ljus, värme, fukt, ozon är exempel på klimatfaktorer som i mycket hög grad inverkar på materialens beständighet.

5.7.2 Fogmaterial, tätskiktsmatta (takpapp)

Fogmaterial används i byggnader i många olika sammanhang: Mellan fönsterkarm och vägg, i fönster som tätning mellan glas och båge, i fasader mellan olika byggelement, i yttertak osv. Fogmaterialens uppgift är att täta mot nederbörd och luft och samtidigt kunna ta upp de rörelser, som uppstår på grund av variationer i temperatur och fuktinnehåll.

Fogmassor innehåller bindemedel, fyllmedel och olika typer av tillsatsmedel. Exempel på bindemedel är soyaolja, linolja, akrylat, polyuretan och silikon. Fogmassornas livslängd bestäms i mycket hög grad av bindemedlets egenskaper.

Tätskiktsmatta (takpapp) består av ett eller två stommaterial samt oxiderad eller polymermodifierad asfalt. Stommaterialet kan vara lump-, plast- eller mineralfiberfilt. I de flesta fall är stommen både impregnerad och belagd med asfalt. Tätskiktsmatta av oxiderad asfalt är sedan på ovansidan skyddsbelagd med skifferkorn. Orsaken till detta är att asfalten har ganska kort livslängd. Skifferkornen skyddar mot UV-ljusets nedbrytning av bindemedlet. Tätskiktsmatta med polymermodifierad asfalt som bas, förekommer med eller utan skyddsbeläggning.

Som alla polymera material är även fogmaterial och tätskiktsmattor mer eller mindre känsliga bl a för solljus och fukt. Livslängden blir alltså i hög grad beroende av det omgivande klimatets aggressivitet i detta avseende. Vissa material, t.ex. silikonbaserade fogmassor har dock en mycket god beständighet även i aggressiva miljöer.

5.8 Ytbehandlingsmaterial

Med ytbehandlingsmaterial avses här färger och lacker. Dessa är i huvudsak synonyma begrepp, men traditionellt gäller att i lacker är bindemedlet löst i ett lösningsmedel. Idag finns dock även vattenburna lacker.

Färger och lacker består av blandningar av bindemedel, pigment, fyllnadsmedel och tillsatsmedel. Oftast finns också ett lösningsmedel för att modifiera viskositeten. Bindemedlens egenskaper bestämmer många av färgens egenskaper: Livslängd, vidhäftning mot underlaget, torktid etc. En målarfärg som innehåller så stor andel pigment så att underlaget helt döljs kallas för *täckfärg*. Om pigmenthalten är så låg att underlaget blir synligt talar man om *lasurfärg*.

Naturliga oljor, t ex linolja och tallolja, är traditionellt viktiga bindemedel, som under de senaste åren har fått en viss renässans. Alkyder, som kan betraktas vara en förädlingsprodukt av de naturliga oljorna, är ett viktigt bindemedel i lösningsmedelsburna lacker.

Traditionell *slamfärg* innehåller ett pigment och ett bindemedel som utgörs av ett vattenlösligt klister. Ett typiskt exempel är "Falurödfärg".

Vattenburna färger innehåller syntetiska polymerer som bindemedel. Två vanliga typer är akrylat och polyvinylacetat (PVAc).

Härdlacker innehåller ofta epoxi eller polyuretan (se Kapitel 5.7.1) som bindemedel. Dessa används t ex på betonggolv eller i rostskyddssammanhang.

Bland oorganiska bindemedel kan nämnas silikat (kalium- eller natriumsilikat), släckt kalk och cement (se Kapitel 5.2.4 respektive 5.2.1).

När det gäller val av lämplig färg för att nå högsta möjliga livslängd måste naturligtvis först färgens grundegenskaper beaktas. Dessutom måste hänsyn tas till underlagets typ och yttre påverkningar samt appliceringsegenskaper.

6

KARAKTERISERING AV YTTRE MILJÖ

6.1 Allmänt

Karakterisering av miljön kan ske på en allmän nivå eller i detalj, beroende på hur kritisk den är för bedömningen av materialens nedbrytning. Syftet med att karakterisera miljön är att försöka identifiera de faktorer som är relevanta och deras sannolika effekter.

Miljöfaktorerna avgör *om* beständighetsfrågan är aktuell och *hur fort* en nedbrytning av ett givet material kommer att ske. Höga temperaturer ger snabba kemiska reaktioner. Låga temperaturer ger frysning och därmed risk för frostangrepp i porösa material. Närvaro av vatten är en nödvändig förutsättning för flera nedbrytningsmekanismer. Luft och vatten kan innehålla föroreningar, som kan påskynda nedbrytningen etc. Kännedom om miljön är nödvändig för att man skall kunna behärska beständighetsfrågorna och alltså kunna uppskatta livslängden hos byggmaterial.

Miljöfaktorerna för en byggnads klimatskal skulle kunna inrymmas i följande systematik:

- Atmosfär
- Klimat
- Vatten
- Övrigt

Atmosfärens innehåll av diverse luftföroreningar är av stor betydelse för livslängdsfrågorna. Luftföroreningarna är fasta partiklar eller gaser. De fasta föroreningarna består av damm eller förbränningsrester från tätorter, industriområden etc. Även koksalt, som med vinden förs in över kustområden, räknas till luftföroreningarna trots att detta har naturliga orsaker. De fasta partiklarna sätter sig på metallytor och orsakar där korrosion genom att bilda lokalelement och hålla kvar eller tillföra fukt genom sin hygroskopicitet.

Nederbörd, vind och temperatur är viktiga faktorer som bestämmer *klimatet* och även *mikroklimatet* för en byggnad eller byggnadsdel. Nederbörden har betydelse för materialens fuktillstånd. Kombinationen vind och regn, *slagregn*, har betydelse för fuktillståndet hos material i vertikala ytor, t.ex. fasader.

Vatten medverkar i en eller annan form vid de flesta förekommande materialangreppen. Vattnets medverkan kan indelas i följande grupper:

- Medverkan i kemiska reaktioner (många reaktioner sker endast i närvaro av vatten).
- Elektrolyt vid korrosion.
- Frostsprängning.
- Transportmedium för salter vid saltsprängning.
- Fuktrörelser.
- Förutsättning för biologisk nedbrytning, t.ex. röta i trä.

Bestämmande för vattens aggressivitet mot olika material är faktorer som pH-värde, hårdhet, innehåll av lösta salter och gaser, temperatur samt i vilken grad vattnet strömmar förbi konstruktionen.

Utöver dessa allmänna miljöbestämmande faktorer måste man från fall till fall undersöka om *lokala faktorer* kan inverka på miljön. Detta gäller i synnerhet industriområden, där kemikalier, råvaror, ångor och gaser, ofta i kombination med hög relativ fuktighet i och kring lokalerna, ger speciellt svåra påfrestningar på byggmaterialen.

6.2 Existerande indelningar i miljöklasser

På internationell nivå pågår f.n. flera projekt med inriktning ”Livslängdsplanering av byggnader”, se t.ex. [9], [22], [23], [24] och [27]. I dessa diskuteras även olika förslag för att kunna karakterisera de omgivande miljöerna.

I [18] – [21] beskrivs ett miljöklassningssystem, som har utvecklats för att kunna klassificera atmosfärisk korrosion av metaller. Klassificeringen har två utgångspunkter. Den ena gör en miljöklassificering med utgångspunkt från korrosionsbefrämjande parametrar som t.ex. våttid och föroreningar. Den andra baseras på mätning av korrosionshastigheter på standardmetaller som exponerats i ett speciellt mikroklimat.

Eftersom olika materialgrupper har olika uppbyggnad (Kapitel 5) är de känsliga för olika faktorer i den omgivande miljön. I Sverige görs därför en indelning av miljön i olika klasser för ett antal viktiga materialgrupper enligt nedan.

I ”Boverkets handbok för betongkonstruktioner”, BBK 94, Band 2, [4] sker en indelning i fyra miljöklasser. Här är det risken för frostangrepp på betongen som är utgångspunkt för klassindelningen:

- B1 *Obetydligt betongaggressiv miljö*
- B2 *Något betongaggressiv miljö*
- B3 *Måttligt betongaggressiv miljö*
- B4 *Mycket betongaggressiv miljö*

I [4] sker även en indelning i fyra miljöklasser A1-A4 med hänsyn till risken för korrosion på ingjuten armering. I Byggvägledning 6 (Murverkskonstruktioner) hänvisas till Miljöklass A1-A3, vilka kan vara relevanta i samband med armering i murverk.

BBK 94, Band 2, finns i två tabeller exempel på lämplig betongmassa respektive minsta basmått för täckande betongskikt i Miljöklass A1-A4. Den senare tabellen visas nedan, Tabell 6.1. Där avser "Livslängdsklass L1" konstruktioner med förväntad livslängd minst 50 år och "Livslängdsklass L2" konstruktioner med förväntad livslängd minst 100 år.

Tabell 6.1 Minsta basmått för täckande betongskikt i mm med hänsyn till korrosionsskyddet för föga korrosionskänslig armering enligt BBK 94, Band 2 [4].

Miljöklass	$v_{ct,ekv}$	Livslängdsklass	
		L1	L2
A1 Obetydligt armeringsaggressiv	—	—	—
A2 Måttligt armeringsaggressiv	0,55	25	35
	0,50	20	30
	$\leq 0,45$	20	25
A3 Mycket armeringsaggressiv	0,45	30	45
	$\leq 0,40$	25	40
A4 Extremt armeringsaggressiv	0,40	45	65
	$\leq 0,35$	35	50

I BSK 94 [7], har en indelning gjorts i sex olika miljöklasser, se Tabell 6.2. Utgångspunkten för dessa är miljöns korrosiva aggressivitet.

För trä finns enligt BBR 94 [5] en indelning i *Klimatklass 0-3*. Denna indelning är dock inte betingad av livslängden hos trä utan snarare av fuktens inverkan på bärformåga och styvhet hos träkonstruktionerna.

För övriga material finns inga officiella indelningar i miljöklasser eller liknande.

Tabell 6.2 Miljöklasser med hänsyn till miljöns aggressivitet enligt BSK 94 [7].

Miljöklass	Miljöns aggressivitet	Miljöexempel
M0	Ingen	Inomhus i torr luft, t.ex. i en uppvärmd lokal
M1	Obetydlig	Inomhus i luft med växlande temperatur och fuktighet samt med obetydliga halter luftföroreningar, t.ex. i en icke uppvärmd lokal
M2	Måttlig	Inomhus vid måttlig fuktpåverkan och måttliga halter luftföroreningar. Utomhus i inlandet i luft med låga halter luftföroreningar, t.ex. i ett större område utan större tätort
M3	Stor	I luft med förhöjda halter aggressiva luftföroreningar, t.ex. i en större tätort eller i ett industriområde. Över hav eller i närheten av kust, dock inte i en zon med saltvattenstänk
M4A	Mycket stor	Inomhus och utomhus vid ständigt mycket hög luftfuktighet eller ständig kondens. I salt eller sött vatten eller i jord
M4B	Mycket stor	Inomhus och utomhus i industriområde med höga halter aggressiva luftföroreningar, t.ex. vid vissa kemiska industrier, raffinaderier eller konstgödselfabriker.

6.3 Förslag till karakterisering av yttre miljö

För betong, armerad betong och stål i bärande konstruktioner är omgivande miljö definierad med hjälp av olika miljöklasser, se Kapitel 6.2. För övriga material saknas sådana.

Det vore tänkbart att på motsvarande sätt skapa miljöklasser för kalkbundna material, massivt trä, termo- och hårdplaster etc. Det är dock mycket stor risk för att framställningen då skulle förlora i tydlighet. Därför föreslås följande:

1. Först definieras ett "normal miljö" i vilken byggmaterialen når sin "normala livslängd".
2. För varje materialgrupp identifieras specifika miljöfaktorer, som kan reducera den "normala livslängden". För stål kan detta som exempel vara närheten till salthaltig havsatmosfär. För ytbehandlingsmaterial kan det handla om kraftig solbestrålning, t ex orientering mot söder och väster, osv.
3. Dessa specifika miljöfaktorer beaktas genom att normal livslängd multipliceras med en faktor i intervallet 0,2 – 0,8 beroende på miljöns inverkan på materialets livslängd.

"Normal miljö" definieras på följande sätt: *"I luft med förhöjda halter aggressiva luftföroreningar, t ex i en större tätort eller i ett industriområde. I närheten av kust, dock inte i en zon med saltvattenstänk"*. Denna definition överensstämmer i stort med Miljöklass M3 enligt [7], se även Tabell 6.2 ovan.

7

METODER FÖR BEDÖMNING AV LIVSLÄNGD

7.1 Allmänt

Det har alltid funnits ett behov av att ungefärligt kunna bedöma hur länge byggmaterialen håller i en viss miljö. Metoderna för att avgöra detta har historiskt sett i huvudsak byggts på erfarenhet. Det säger sig självt att denna metod är svår att tillämpa på nya material och materialkombinationer.

Idag har intresset för resurshushållning, både i nybyggandet och vid reparation och underhåll, ökat behovet av att kunna bedöma materialens livslängd. Detta har i sin tur ökat kraven på precision hos de metoder som används för provning och utvärdering. Principerna för dessa metoder beskrivs nedan.

7.2 Praktisk erfarenhet och långtidsprovning

Att enbart basera materialval och konstruktionsutformningar på praktisk erfarenhet kan vara hämmande för utvecklingen. Denna metod kan i princip enbart tillämpas på de material vars långtidsbeteende man har kunskap om. Om man tillämpar samma principer på nyutvecklade material, helt nya konstruktionstyper eller på förändrade miljöförutsättningar, kan man råka ut för stora problem.

Inte heller kan man tillämpa gammal erfarenhet på nya material. Det är inte ovanligt att sammansättningen hos materialen förändras på så sätt att nya komponenter med okända långtidsegenskaper införs.

Det finns i princip fyra olika sätt att samla data från långtidsprovning:

1. Fältstudier.
2. Experimentbyggnader.
3. Provning i användning (eng. "in-use exposure").
4. Fältundersökningar av byggnader.

Fältstudier har använts sedan lång tid och från dessa finns mycket användbar information samlad för många olika materialgrupper. Det finns därför idag även provningsstandards, som använder sig av fältstudier.

I synnerhet för olika typer av metaller har man kunnat utarbeta s k Dos/Responsfunktioner. Syftet med dessa är att beskriva de fysikalisk/kemiska sambanden mellan nedbrytningen hos material och den miljö där materialet exponeras. En sammanställning av sådana funktioner finns bl.a. i [16].

Experimentbyggnader har under de senaste årtiondena blivit relativt vanliga. Detta innebär att undersökning av olika byggprodukters beständighet utförs i byggnader, som är speciellt avsedda för provningsändamål. Principen används av båda materialtillverkare och provningslaboratorier för studier av beständighet och livslängd.

Provning i användning ("in-use exposure") innebär att nya material används i existerande, normala byggnader under normala villkor. Syftet är att värdera materialens livslängd i den befintliga miljön.

Fältundersökningar av byggnader har under lång tid använts för att samla kunskap om livslängd hos byggmaterial. Det är dock först på senare år som man har börjat försöka sammanställa erhållna resultat på ett mer systematiskt sätt.

De ovan nämnda angreppssätten beskrivs relativt utförligt i [8]. Där diskuteras även de olika metodernas för- och nackdelar.

7.3 Laboratorieprovningar

I laboratorieprovningar accelereras ofta en nedbrytningsprocess för att man på relativt kort tid skall kunna dra slutsatser beträffande materialens beständighet. Acceleration åstadkoms normalt genom att öka angreppets intensitet eller genom att öka reaktionshastigheten med hjälp av förhöjd temperatur.

Det saknas dock i stort sett helt och hållet goda provningsmetoder för bedömning av olika materials långtidsegenskaper [13]. De provningsmetoder som används för att prova beständighet är mycket sällan lämpade för bedömning av materialens livslängd. Metoderna ger information om den allmänna beständighetsnivån, men ingen information om hur länge materialet bör kunna fungera i den aktuella miljön. Möjligen kan provningen användas för att välja ett visst material framför ett annat. Men ibland kan t.o.m provningen rangordna materialen fel.

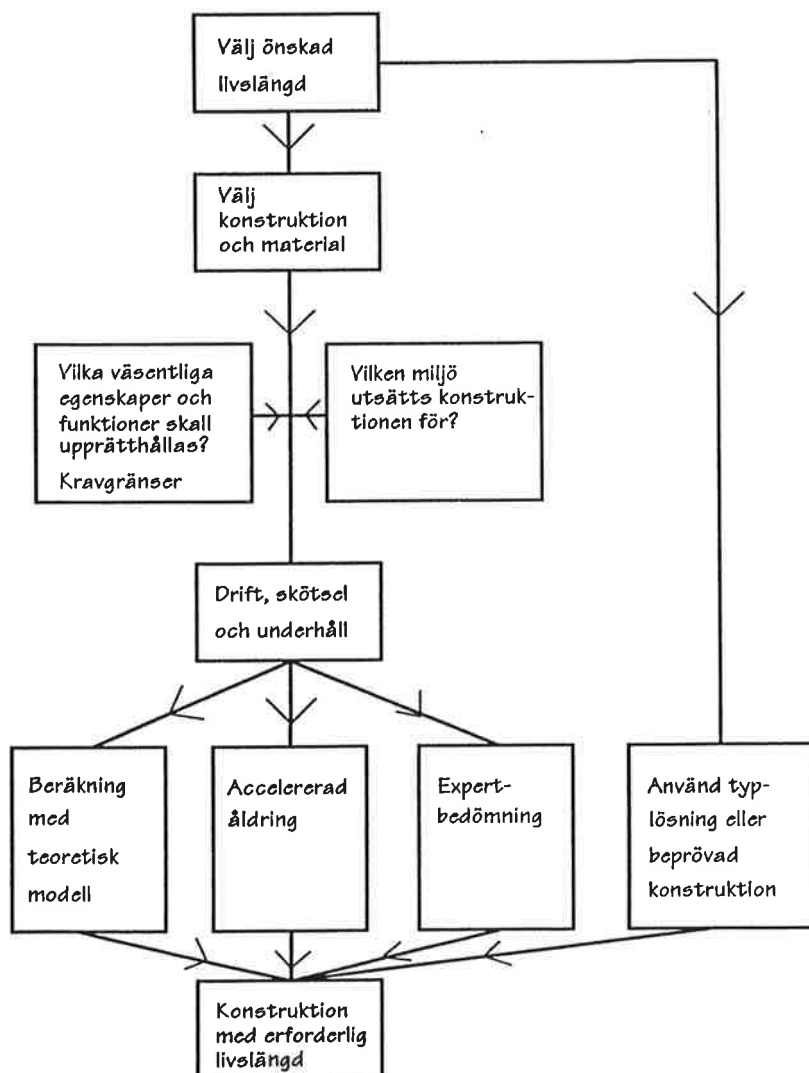
Provning av materialkombinationer utförs sällan. Att avgöra hur kombinationen av olika material fungerar är viktigt när det t.ex gäller ytskiktmaterial. Hur en målarfärg kommer att fungera på en träfasad beror inte bara på själva färgens beständighet, utan i minst lika hög grad på hur färgen påverkar t.ex. underlagets fuktbalans.

Det finns därför idag ett mycket stort behov av nya provningsmetoder, som värderar materialen och materialkombinationerna på ett realistiskt sätt och som möjliggör mer rättvisa jämförelser mellan olika material. Sådana metoder bör helst vara icke-

accelererade, dvs materialet eller materialkombinationen testas i en realistisk miljö. I stället studeras effekterna på materialet eller kombinationen med känsliga metoder.

7.4 Livslängdsberäkningar

Det vore mycket säkrare om man kunde basera materialvalet och konstruktionsutformningen på en realistisk livslängdsberäkning. Under de båda senaste årtiondena har det även skett en snabb utveckling inom detta område. Bl.a. har utvecklingen av nya analysmetoder och datorhjälpmiddel bidragit till detta.



Figur 7.1 Exempel på möjliga vägar vid dimensionering av en konstruktion för en viss livslängd [32].

Livslängden hos många material och materialkombinationer beror till stor del på fuktförhållandena. Många beständighetsproblem hänger samman med att ett kritiskt fuktillstånd överskridits. Livslängdsberäkningar måste därför normalt kopplas till fukt-mekaniska beräkningar [13]. För att man skall få en konstruktion med hög livslängd, gäller det att välja material och konstruktionsutformning på ett sådant sätt, att sannolikheten är mycket låg att den kritiska fuktnivån överskrids under den önskade livstiden.

En generell modell som beskriver de olika stegen vid dimensionering av en konstruktion eller komponent för en viss livslängd framgår av Figur 7.1 [32]. Figuren förutsätter att det för det aktuella fallet finns en beräkningsmodell med vars hjälp man kan göra riktiga bedömningar. Dessutom krävs att det har utvecklats en modell för accelererad åldring som beskriver det verkliga åldringsförloppet med en viss accelerationsfaktor. Dessutom krävs att kunskapen om problemen är så väl känd att expertbedömning är meningsfull och att typlösningar har utvecklats. Så är ju tyvärr inte alltid fallet.

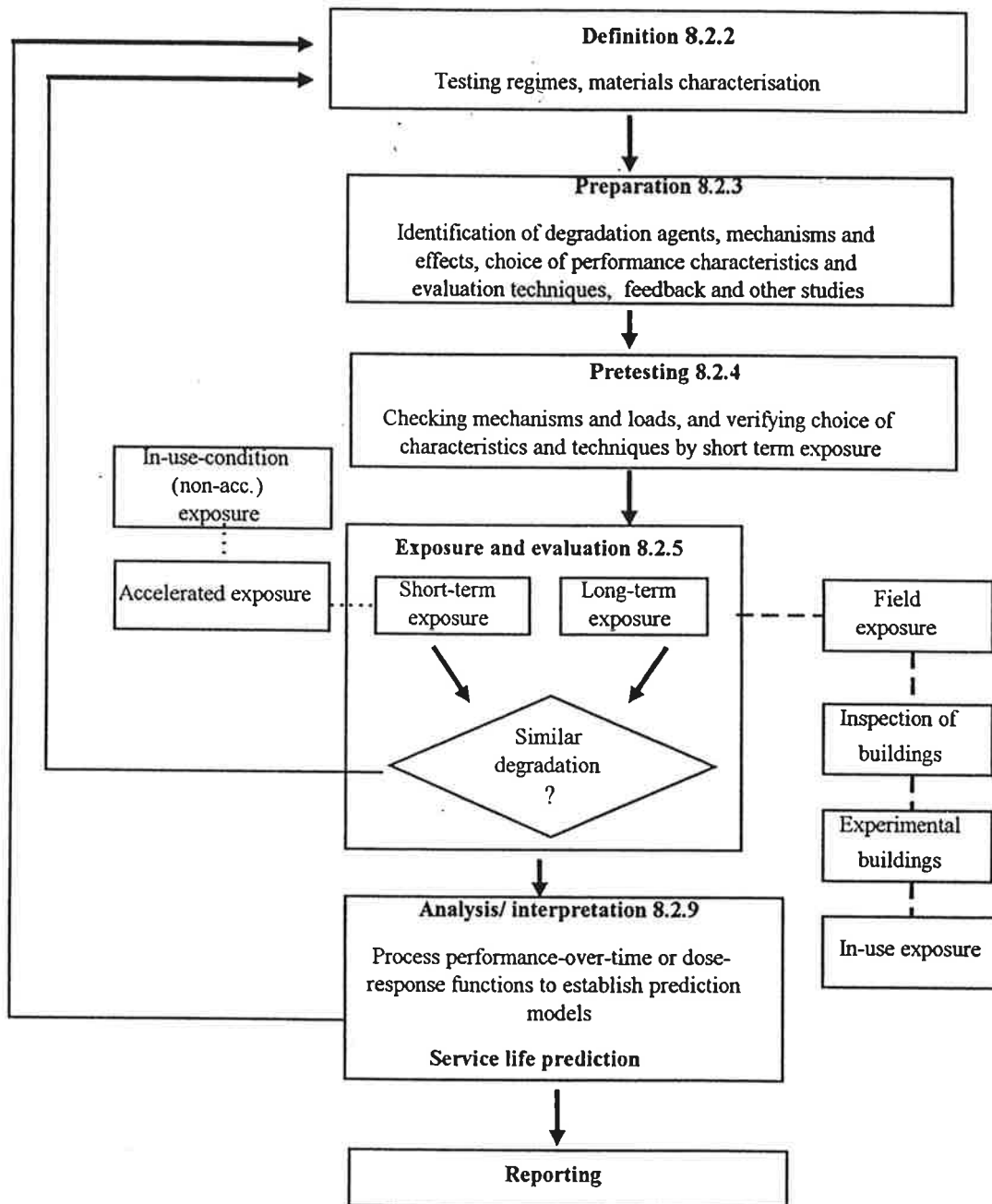
Inom några olika internationella organisationer har arbete pågått med syfte att ta fram metoder för livslängdsberäkningar för material, konstruktioner och byggnader, se t.ex. [22], [23] och [27]. I den metodik som hittills utarbetats ingår att noggrant karakterisera materialet och den omgivande miljön och de nedbrytningsmekanismer, som kan föreligga. Därefter sker en förprovning för att verifiera att de gjorda antagandena och beskrivningarna är riktiga. Sedan sker accelererad provning vars resultat jämförs med resultat erhållna med hjälp av långtidsförsök i princip enligt Kapitel 7.2. Om de erhållna resultaten ger en god överensstämmelse utarbetas matematiska modeller med vars hjälp man utför en livslängdsberäkning.

Sådana beräkningar har utvecklats tämligen långt när det t ex gäller armeringskorrosion hos betongkonstruktioner, se t.ex. [28]. För andra material och konstruktioner återstår dock fortfarande mycket arbete.

7.5 Internationellt standardiseringsarbete

Arbetet inom ISO (International Organization for Standardization) har idag kommit relativt långt när det gäller standardisering för livslängdsplanering av byggnader. Målsättningen med arbetet är att producera en internationell standard med syfte att stödja projektören i arbetet med att bestämma om en byggnads prestanda kan hållas inom acceptabla gränser under hela dess livslängd ("design life"). Två förslag till internationella standarder är f.n. ute på remiss [22], [23].

I [22] finns ett "beslutsträd" beskrivet, se Figur 7.2, som beskriver en modell med vars hjälp man skall kunna göra förutsägelser gällande livslängd.



Figur 7.2 Beslutsträd med vars hjälp man kan förutsäga livslängd [22].

I [22] beskrivs även en "Faktor-metod" med vars hjälp man kan uppskatta livslängden vid de specifika förhållanden, som gäller i det enskilda fallet. Metoden innebär att man först uppskattar "the reference service life". Detta är en dokumenterad livslängd (i år) som detaljen eller konstruktionen kan förväntas fungera under ett referenstillstånd.

Denna tid kan sedan modifieras med hjälp av olika faktorer ("modifying factors"). Dessa är enligt förslaget sju till antalet. Exempel på faktorer som beaktas är detaljens *kvalitet* ("quality of components"), *arbetsutförande* ("work execution level"), *utomhusmiljö* ("outdoor environment") och *graden av underhåll* ("maintenance level").

Detta är således i skrivande stund endast ett förslag. Ansatsen är dock mycket pragmatisk och lätt att överskåda. I föreliggande rapport har därför valda delar av denna faktormetod använts för att bedöma och ange livslängden hos byggmaterial. Detta redovisas närmare i Kapitel 8.2 – 8.11 nedan.

8

LIVSLÄNGD HOS BYGGMATERIAL

8.1 Inledning

Kapitel 8 har utformats så att det i huvudsak skall "stå på egna ben", dvs kapitlet skall kunna läsas och användas fristående övriga kapitel i rapporten. Därför upprepas först några väsentliga begrepp och definitioner. Ibland sker dock en hänvisning till andra kapitel om en mer nyanserad bedömning måste göras.

Begreppet "*livslängd hos byggmaterial*" har ingen entydig definition. Kapitel 3-7 i föreliggande rapport har därför haft två syften:

1. Skapa en bakgrund och förståelse för problematiken kring beständighet och livslängd hos byggmaterial.
2. Definiera ett antal viktiga begrepp.

I Kapitel 3.3 gjordes en definition av begreppet *livslängd*. Denna definition är utgångspunkt för de värden som anges nedan. Definitionen lyder: "*Livslängd hos byggmaterial är den tidsperiod efter vilken materialen når en funktion som är oacceptabel*". Vid bedömning av tidsperiodens längd skall följande faktorer vägas in:

- Materialens bärförmåga
- Klimatskydd
- Utseende och estetik
- Hälsa och säkerhet
- Behov av underhåll och reparation.

Denna definition gäller alltså för alla byggmaterial, t.ex. en träpanel som är täckmålad. Ytbehandlingen är dock i sig också ett byggmaterial. Dess livslängd avgör när en om målning blir nödvändig för att träpanelens önskade livslängd skall uppnås. Ytbehandlings livslängd överensstämmer alltså med det som oftast kallas "underhållsintervall".

I Kapitel 6.3 definierades den "normalmiljö" till vilken livslängden relateras. Definitionen lyder: "*I luft med förhöjda halter aggressiva luftföroreningar, t ex i en större tätort eller i ett industriområde. I närheten av kust, dock inte i en zon med saltvattenstänk*".

Definitionen överensstämmer i stort med miljöklass M3 i [7]. Det finns två anledningar till detta. För det första är de värden för livslängder, som finns i tillgängliga källor, ofta relaterade till miljöer som ungefär överensstämmer med klass M3. För det

andra har denna miljötyp störst intresse, eftersom där finns den största befolkningskoncentrationen och alltså störst nyproduktion men även flest byggnader att vårda.

Olika materialgrupper har olika känslighet för de faktorer som karakteriserar den omgivande miljön. Därför gjordes i *Kapitel 5* en indelning av alla byggmaterial i ett antal huvudgrupper. Detta gjordes dels för att skapa en användbar systematik, dels för att kortfattat beskriva materialens uppbyggnad med koppling till de nedbrytningsmekanismer, som respektive huvudgrupp kan utsättas för. *Kunskap om dessa mekanismer kan sedan i förekommande fall användas för att reducera den "normala livslängden", se nedan.*

8.2 Metodik

Ett byggmaterials livslängd är (som tidigare påpekats i *Kapitel 3.1*) inte en material-egenskap. Livslängden beror på vilket sätt materialet utnyttjas i byggnaden, dvs dels på den funktion materialet har i byggnaden och dess olika konstruktioner, dels på den miljö som materialet i denna funktion exponeras i. Även arbetsutförandet och graden av underhåll påverkar livslängden.

De värden på livslängder, som anges nedan, förutsätter att konstruktioner, arbetsutföranden och materialval är gjorda så att de tillfredsställer de övergripande krav, som gäller enligt svenska byggbestämmelser. De mycket korta livslängder, som alltför ofta uppstår och som är förknippade med s.k. "skadefall" exkluderas därför i detta sammanhang.

Relevant och säker information om byggmaterialens livslängd är svår att hitta eftersom det är så många faktorer, som påverkar resultatet. De värden som anges har hämtats från ett flertal olika källor med högst varierande förutsättningar. Det är därför svårt att värdera informationen. På grund av detta anges nedan ett intervall för livslängden.

Den angivna livslängden gäller för den "normalmiljö", som definierats i *Kapitel 6.3* (och *Kapitel 8.1*). Om aktuell miljö är mer aggressiv multipliceras värdet med en "Faktor". Dennas storlek bestäms av miljöns sammansättning och egenskaperna hos det material, som används i denna miljö. I en mindre aggressiv miljö görs ingen korrigering samtidigt som högre värden kan väljas i det angivna intervallet. Det kan här vara på sin plats att notera att luften i många svenska tätorter har förbättrats avsevärt sedan 1970-talet. Detta beror främst på att ökade krav har ställts på fasta och miljöstörande anläggningar.

Observera att många material, t.ex. plast- och ytbehandlingsmaterial, har väsentligt kortare livslängd vid orientering mot söder och väster jämfört med övriga väder-

streck. För porösa stenmaterial gäller på samma sätt att livslängden ofta är nedsatt i väderstreck, som är utsatta för kraftigt slagregn.

I kolumnen "Kapitel" anges det avsnitt i rapporten där respektive material beskrivs i uppbyggnad och där även potentiella svagheter framgår.

8.3 Anvisningar för läsaren

Materialen har indelats i grupper, där den väsentligaste komponenten (oftast "binde-medlet") har varit utgångspunkten. Strukturen blir på så sätt mycket lätt att komplettera. Ett undantag har dock gjorts: Gruppen "Takmaterial" har fått en egen rubrik trots att den snarare representerar en funktion. Förhoppningsvis får indelningen på så sätt en större tydlighet. Detta innebär dock samtidigt att vissa material återfinns på två ställen. T ex "Tegeltakpannor" under "Kapitel 8.5 Keramiska material" och "Takpannor av tegel" under "Kapitel 8.11 Takmaterial".

För att bedöma livslängden hos ett byggmaterial görs följande:

1. Välj den materialgrupp (eller funktion) som är aktuell. I grupperna listas de olika materialen i alfabetisk ordning.
2. Avläs "Livslängd" för önskat material. Ibland saknas uppgift. I dessa fall har dock materialen tagits med för att visa att ytterligare information önskas.
3. I kolumnen "Referenser" framgår källan/källorna för angivna värden. Om referens saknas innebär detta att lämnad uppgift grundar sig på rapportförfattarens egen kunskap och erfarenhet.
4. Den avlästa livslängden gäller för "normal miljö", som definierats i Kapitel 6.3 (och Kapitel 8.1). Om aktuell miljö är mer aggressiv multipliceras värdet med angiven "Faktor". I en mindre aggressiv miljö görs ingen korrigering samtidigt som högre värden (eventuellt det högsta värdet) kan väljas i intervallet.
5. Korrigeringsfaktorns storlek har uppskattats med hjälp av angivna referenser. *Värdet rymmer naturligtvis en hel del osäkerheter.* Om en mer nyanserad bedömning önskas, kan information hämtas från de kapitel som det hänvisas till i nedan redovisade tabeller (Kapitel 8.4 – 8.11) eller från fördjupningslitteraturen gällande aktuellt material.

8.4 Cement- och/eller kalkbundna material

MATERIAL	LIVSLÄNGD [År]	REFERENSER	KORRIGERING	
			Faktor	Kapitel
Autoklaverad lättbetong, armerad	40-70	[10][35]	0,6	5.2.3
Autoklaverad lättbetong, oarmerad	60-90	[10][35]	0,8	5.2.3
Betong vct >0,55, armerad	40-80	[4][11][14]	0,5	5.2.1-2
Betong vct >0,55, oarmerad	50-80	[4][11][14]	0,6	5.2.1-2
Betong vct <0,55, armerad	50-100	[4][11][14]	0,7	5.2.1-2
Betong vct <0,55, oarmerad	60-100	[4][11][14]	0,8	5.2.1-2
Cementputs	50-100	[34]	0,7	5.2.4
Kalkputs	30-60	[34]	0,4	5.2.4
Kalksandsten, murverk	50-100	[34]	0,6	5.2.5
KC-puts	50-100	[34]	0,6	5.2.4

8.5 Keramiska material

MATERIAL	LIVSLÄNGD [År]	REFERENSER	KORRIGERING	
			Faktor	Kapitel
Fasadtegel, murverk	50-100	[15][34][37][41]	0,6	5.3.1
Tegeltakpannor	30-70	[1][3][37][40][41]	0,7	5.3.2

För andra ändamål än som underlag för LCA är rapportens data ej utan vidare tillämpliga. Den som på annat sätt kan styrka livslängd för ett material skall i första hand använda sådana, väl definierade livslängdsuppgifter. Rapportens uppgifter om livslängd skall ses som tumregler att användas när andra, verifierade data ej finns tillgängliga. Uppgifterna om livslängd skall därför användas med försiktighet.

8.6 Metaller

MATERIAL	LIVSLÄNGD [År]	REFERENSER	KORRIGERING	
			Faktor	Kapitel
Aluminium, anodiserad	Uppgift saknas			5.4.2
Aluminium, fabriksmålad	Uppgift saknas			5.4.2
Aluminium, obehandlad	Uppgift saknas			5.4.2
Kopparplåt, obehandlad	>100	[10]	1	5.4.3
Stålpåt, fabriksmålad	35	[41]	0,6	5.4.1
Stålpåt, förzinkad	40-45	[3][16][37][41]	0,7	5.4.1

8.7 Träbaserade material

MATERIAL	LIVSLÄNGD [År]	REFERENSER	KORRIGERING	
			Faktor	Kapitel
Träfönster, lasyrbehandlat	30-50	[1][3][31][41]	0,6	5.5.1/5.8
Träfönster, täckmålat	30-50	[1][3][31][41]	0,7	5.5.1/5.8
Träpanel, lasyrbehandlad	30-60	[1][42]	0,7	5.5.1/5.8
Träpanel, täckmålad	30-60	[1][42]	0,8	5.5.1/5.8

För andra ändamål än som underlag för LCA är rapportens data ej utan vidare tillämpliga. Den som på annat sätt kan styrka livslängd för ett material skall i första hand använda sådana, väl definierade livslängdsuppgifter. Rapportens uppgifter om livslängd skall ses som tumregler att användas när andra, verifierade data ej finns tillgängliga. Uppgifterna om livslängd skall därför användas med försiktighet.

8.8 Glas

MATERIAL	LIVSLÄNGD [År]	REFERENSER	KORRIGERING	
			Faktor	Kapitel
Förseglade rutor (isolerglas)	25-30	[10][41]	0,7	5.6
Planglas, härdat	Uppgift saknas			5.6
Planglas, laminerat	Uppgift saknas			5.6
Planglas, lågmissionsglas	Uppgift saknas			5.6

8.9 Plast- och fogmaterial

MATERIAL	LIVSLÄNGD [År]	REFERENSER	KORRIGERING	
			Faktor	Kapitel
Akrylplast ("plexiglas")	20-30		0,8	5.7.1
EPDM-gummilister	20-30	[17]	0,8	5.7.2
Fogmassa, silikonbaserad	25-35	[10][31][41]	0,9	5.7.2
Fogmassa, akrylatbaserad	15-25	[10][31][41]	0,7	5.7.2
Fogmassa, oljebaserad	5-20		0,7	5.7.2
Fönsterkitt, akrylat- eller silikonbas.	25-35		0,8	5.7.2
Fönsterkitt, oljebaserat	2-5		0,5	5.7.2
Polyester, glasfiberarmerad	20-25		0,8	5.7.1
PVC-plast	15-20		0,7	5.7.1

För andra ändamål än som underlag för LCA är rapportens data ej utan vidare tillämpliga. Den som på annat sätt kan styrka livslängd för ett material skall i första hand använda sådana, väl definierade livslängdsuppgifter. Rapportens uppgifter om livslängd skall ses som tumregler att användas när andra, verifierade data ej finns tillgängliga. Uppgifterna om livslängd skall därför användas med försiktighet.

8.10 Ytbehandlingsmaterial

MATERIAL	LIVSLÄNGD [År]	REFERENSER	KORRIGERING	
			Faktor	Kapitel
Cementfärg på puts	20-30	[33][34]	0,7	5.8
Fabriksmålad aluminiumplåt	30-50	[15][16]	0,7	5.8
Fabriksmålad stålplåt	10-25	[37][41]	0,7	5.8
Kalkfärg på puts	10-15	[33][34]	0,4	5.8
KC-färg på puts	15-25	[33][34]	0,6	5.8
Lasyrfärg på fönster	5-7	[12][25][31][42]...	0,6	5.8
Lasyrfärg på trä	4-8	[15][37][41][42]	0,6	5.8
Ommålning av fabriksmålad alumin.	15	[16]	0,7	5.8
Ommålning av förzinkad stålplåt	10-15	[31][37][40][41]	0,7	5.8
Organisk färg på puts	20-40	[33][34]	0,7	5.8
Silikatfärg på puts	30-40	[33][34]	0,7	5.8
Slamfärg på trä	8-15	[41][42]	0,5	5.8
Täckfärg på fönster	8-10	[12][25][31][42]...	0,6	5.8
Täckfärg på oljehärdad träfiberskiva	10	[15]	0,7	5.8
Täckfärg på trä	10-17	[15][[31][37][40]..	0,7	5.8
Täckfärg på U-plywood	10	[15]	0,7	5.8

För andra ändamål än som underlag för LCA är rapportens data ej utan vidare tillämpliga. Den som på annat sätt kan styrka livslängd för ett material skall i första hand använda sådana, väl definierade livslängdsuppgifter. Rapportens uppgifter om livslängd skall ses som tumregler att användas när andra, verifierade data ej finns tillgängliga. Uppgifterna om livslängd skall därför användas med försiktighet.

8.11 Takmaterial

MATERIAL	LIVSLÄNGD [År]	REFERENSER	KORRIGERING	
			Faktor	Kapitel
Aluminiumplåt, fabriksmålad	Uppgift saknas			5.4.2
Aluminiumplåt, täckmålad	Uppgift saknas			5.4.2
Butylgummiduk	30-35	[17]	0,7	5.7.2
Fibercementskivor	30-35	[3][41]	0,8	5.5.2
Kopparplåt, obehandlad	>100	[10]	1	5.4.3
PVC, mjukgjord vävarmerad	25-30	[17]	0,7	5.7.1
Stålplåt, förzinkad och täckmålad	40-45	[3][16][37][41]	0,7	5.4.1
Stålplåt. fabriksmålad	35	[41]	0,6	5.4.1
Takpannor av betong	30-70	[1][3][15][40]	0,8	5.2.1
Takpannor av tegel	30-70	[1][3][37][40][41]	0,7	5.3.2
Tätskiktsmatta	25-30	[31][37][40][41]	0,7	5.7.2

För andra ändamål än som underlag för LCA är rapportens data ej utan vidare tillämpliga. Den som på annat sätt kan styrka livslängd för ett material skall i första hand använda sådana, väl definierade livslängdsuppgifter. Rapportens uppgifter om livslängd skall ses som tumregler att användas när andra, verifierade data ej finns tillgängliga. Uppgifterna om livslängd skall därför användas med försiktighet.

REFERENSER

- [1] Adalberth, K., (1995), "Bygga Bruka Riva: Energianvändning i småhus ur ett kretsloppsperspektiv". Rapport TVBH-3027, Avd Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola.
- [2] Bankvall, C., m fl, (1986), "Beständighet inom bygg- och installationsområdet". Rapport G4:1986, Byggforskningsrådet, Stockholm.
- [3] Bejrums, H., Hanson, R., Johnson, B., (1996), "Det levande husets ekonomi". Rapport A3:1996, Byggforskningsrådet, Stockholm.
- [4] Boverkets handbok om betongkonstruktioner, BBK 94, Band 1-2, (1996).
- [5] Boverkets byggregler 94, BBR 94:3, (1996).
- [6] Boverkets konstruktionsregler, BKR 94:2, (1995).
- [7] Boverkets handbok om stålkonstruktioner, BSK 94, (1994).
- [8] Brandt, E., (1996), "Long-term ageing tests". Durability of Building Materials and Components 7 (Volume Two), E & FN Spon, London.
- [9] Browne, R.D., (1996), "Rilem support needed for the ISO design life methodology". Proceedings from an International Conference on "Sustainable Use of Materials". Building Research Establishment, Garston, UK.
- [10] Byggnadsmaterial allmän kurs del I-III, (1999). Avd Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola.
- [11] Byggnadsmaterial fortsättningskurs del I-II, (1999). Avd Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola.
- [12] Carlsson, B., Wernstahl, K., Bylander, S.A., (1997), "Långtidshållbarhet vid underhållsmålning av träfönster". SP-Rapport 1997:21.
- [13] Fagerlund, G., (1997), "Byggnadsmaterialens beständighet". Rapport TVBM-9052, Avd Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola.
- [14] Fagerlund, G., (1992), "Betongkonstruktioners Beständighet" (tredje reviderade upplagan). Cementa AB, Danderyd.
- [15] Fastighetsförvaltning, Häfte 4, (1995). Kompendium, Inst för Byggnadsekonomi, Lunds Tekniska Högskola.
- [16] Haagenrud, S., Henriksen, J., (1996), "Degradation of built environment – review of cost assessment model and dose-response functions". Durability of Building Materials and Components 7 (Volume Two), E & FN Spon, London.
- [17] Holmström, A., (1996), "14 år i provhus – Utvärdering av gummi- och plastprodukters beständighet. Rapport 1996:17, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.
- [18] ISO 9223, (1992). "Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification".

- [19] ISO 9224, (1992), "Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Guiding values for the corrosivity categories".
- [20] ISO 9225, (1992), "Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Measurement of pollution".
- [21] ISO 9226, (1992), "Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Methods of determination of corrosion
- [22] ISO/DIS 15686-1,(1998), "Buildings – Service Life Planning. Part 1: General principles".
- [23] ISO/CD 15686-2.3, (1998), "Buildings – Service Life Planning. Part 2: Service Life Prediction Principles".
- [24] Jernberg, P., Sjöström, C., Lacasse, M., (1997), "TC 140-TSL: Prediction of service life of building materials and componenets, State-of-the-Art report". Materials and Structures, March 1997, pp 22-25.
- [25] Jutengren, K., Carlsson, B., (1993), "Utvändigt trä – klimat, skador och livslängd". Rapport R5:1993, Byggforskningsrådet, Stockholm.
- [26] Lewry, A., Crewdson, L., (1994), "Approaches to testing the durability of materials used in the construction and maintenance of buildings". Construction and Building Materials 1994, Volume 8 Number 4, pp 211-222.
- [27] Masters., L., Brandt, E., (1989), "Rilem recommendations: Systematic methodology for service life prediction of building materials and components". Materials and Structures, 1989, 22, pp 385-392.
- [28] "New Approach to Durability Design", (1997). CEB Bulletin d'Information No 238.
- [29] Nilsson, L. O., (1987), "Syna materialet och finn dess livslängd". Byggforskning 6:1987.
- [30] Person, L., (1997), "Tillämpning av livscykelanalys för byggnadskonstruktioner". Chalmers Industriteknik 1997:1.
- [31] REPAB Faktaböcker, Årskostnader Bostäder – Riktvärden 1996.
- [32] Samuelson, I., (1994), "Beständighet – Åldring – Livslängd. Forskningsbehov inom byggnadsfysik". Rapport G4:1994, Byggforskningsrådet, Stockholm.
- [33] Sandin, K., (1995), "Utvändig ytbehandling av puts och murverk". Rapport T13:1995, Byggforskningsrådet, Stockholm.
- [34] Sandin, K., (1998), Muntlig information.
- [35] Shirayama, K., (1985), "Research activities and administrative measures on durability of buildings. The state of the art in Japan". Material and Structures, Vol 18, No 105, pp 215-221.
- [36] Soronis, G., (1993), "Material selection in roofing design". Report 37, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- [37] Sveriges Allmännyttiga Bostadsföretag, 1992: Underhållsnorm. Stockholm.
- [38] Tekniska nomenklaturcentralen: TNC 95, Plan- och byggtermer 1994. Stockholm.
- [39] Tekniska nomenklaturcentralen: TNC 67, Korrosionsordlista. Stockholm 1977.

- [40] Tolstoy, N., Andersson, G., Kucera, V., Sjöström, C., (1989), "Utvändiga byggnadsmaterial – mängder och nedbrytning". Rapport M:25, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle.
- [41] Tolstoy, N., Svennerstedt, B., (1984), "Reparationsbehov i bostäder och lokaler". Rapport M84:10, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle.
- [42] Träinformation, (1993), "Träbyggnadshandbok del 8: Drift och underhåll". Träinformation AB, Stockholm.
- [43] Vägverket, (1994), "Allmän teknisk beskrivning för broar, BRO 94". Svensk Byggtjänst, Stockholm.

