



SALTSKADER PÅ MURVÆRK

Indledning

Saltskader på murværk er klassiske problemstillinger. Murværk findes omtrent overalt, salte findes ligeledes omtrent overalt, og de må derfor ofte mødes.

Men når salte kommer ind i murværk kan der opstå forskellige skader: forvittringer, misfarvninger og udblomstringer. Og problemerne forværres desværre af, at salte, der først er kommet ind i murværksmaterialerne, stort set er umulige at få ud igen.

Salt og fugt

Salte og fugt er intensivt forbundne. Salte opløses i vand. De vil blive transporteret med vand og vil fælde ud, hvor vandet fordamper.

Salte har en hygroskopisk virkning, dvs. de binder fugt. Ved høje relative luftfugtigheder vil salte optage fugt fra luften, og ved lave relative luftfugtigheder vil saltene igen afgive denne fugt. Salte, der først er kommet ind i murværk, vil således ofte medvirke til et konstant fugtindhold i materialerne.

Fugt i murværk har flere kilder:

Allerede ved opmuringen har murværket et vandindhold. Muremørtel har typisk et vandindhold på 20 %. Andre kilder er vand fra afsyring, og hvad der tilføres pga. manglende afdækning.

Senere i murværkets levetid er regn en dominerende fugtkilde. Hvor meget vand, der tilføres murværket, afhænger af:

- Placering i landskabet
- Konstruktion, f.eks. udhæng på tag
- Udførelse
- Overfladebehandlinger
- Revner i murværket

Opstigende grundfugt er især almindeligt i ældre bygninger uden fugtspærre. Før ca. 1920 kan man ikke regne med indlagt fugtspærre nederst i murværket. Men selv om der er fugtspærre, kan de være nedbrudt, perforeret ved diverse ændringer i bygningen eller ikke virksomme som følge af:

- Kortslettet af for eksempel pudslag
- Terrænet er hævet op over fugtspærren, jordbede, fortove der hæves etc.
- Sne indeholdende salte fra tørsaltning kan i perioder hobe sig over fugtspærrens niveau.

Afgørende for vandindhold i murværket er ikke mindst hvordan vandet forlader murværket. Her er der oftest tale om fordampning, og hvor hurtigt det går, bestemmes igen af forhold som placering i landskab og overfladebehandlinger.

Hvordan fugt vandrer i murværk bestemmes for en stor del af mørteltypen. I ældre murværk med kalkmørtel vandrer fugt relativt højt og langt, og fugten og dermed evt. salte vil koncentreres i teglstenene. I nyere murværk med kalkcementmørtel vandrer fugten næsten udelukkende i mørtelfugerne og ikke nær så højt og langt. Fugt og salte koncentreres dermed i mørtelfugerne.

Salttyper/mange slags salte

Der findes mange forskellige salte. Fælles for dem er, at de er krystallinske stoffer, der kan opløses i vand. Når de opløses spaltes de i positive og negative ioner.

Saltene har meget varierende egenskaber, som igen har afgørende betydning for deres virkning på murværks materialer:

- De har forskellig opløselighed i vand.
- De kan indeholde vand bundet som krystalvand
- De har forskellige hygroskopiske egenskaber
- De krystalliserer ved forskellige luftfugtigheder
- De har forskellige farver (dog normalt hvide)

I det følgende omtales de vigtigste salte, man møder i forbindelse med dansk murværk:

Natriumchlorid (NaCl)

Dette salt er det, vi almindeligvis forbinder med begrebet salt. Vi kender det som køkkensalt, havsalt og tørsalt. Der er altså mange kilder.

Natriumchlorid er letopløseligt i vand (333 g/liter).

Natriumchlorid virker forvitrende på især rødt tegl og på mørtel. Derimod vil gult tegl ikke blive påvirket.

Natriumchlorid går i opløsning i det vand, det selv binder hygroskopisk, når luftfugtigheden kommer over 75 %. Når luftfugtigheden falder under 75 % fælder natriumchlorid ud som fast stof. Det er netop denne udfældning inde i f.eks. rødt tegl der medfører en forvitring, der typisk har karakter af afmeling.

Eksempel: B, F, H, J.

Calciumchlorid ($\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$)

Dette salt vil opstå ved afsyring med saltsyre, når saltsyren reagerer med kalk. Tidligere er det brugt som frysepunktssænkende middel i mørtel.

Calciumchlorid er meget letopløseligt (750 g/liter).

Det går i opløsning i det hygroskopisk bundne vand allerede ved en luftfugtighed på ca. 30 %. Det vil derfor kun fælde ud under meget tørre forhold og stort set altid findes i opløsning og være kemisk aktivt. Selve saltet ser man derfor ikke men nok de virkninger, det har.

Tilstedeværelse af calciumchlorid kan medføre manglende færdighærdning af mørtel, udfældning af komplicerede calciumchlorid-calciumoxid-vand forbindelser, der giver misfarvning af fuger og i værste tilfælde forvittringer.

Eksempel: I

Natriumsulfat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$)

Dette salt er normalt hovedbestanddelen af ”mursalpeter”.

Der er flere kilder:

- Fra undergrunden via opstigende grundfugt
- Murværksmaterialerne selv
- Facaderensning med natriumhydroxid, natriumhydrogencarbonat(bagepulver)
- Injiceringsmidler

Natriumsulfat er relativt let opløseligt 50 g/liter.

Natriumsulfat fælder ud ved luftfugtigheder under 93 %. Fugtmålinger på murværk viser, at sådanne udfældninger sker når murværket kommer ned på 2 – 4 % fugt, dvs. især ved udtørring. Udfældningerne danner ofte en karakteristisk ”uld”.

Natriumsulfat kan indeholde forskellige mængder krystalvand. Det kan være forklaringen på saltets forvitrende virkning.

Eksempel: C, E, H, J.

Calciumsulfat (gips, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Normalt giver gips mørke misfarvninger, der egentlig ikke ændrer murværksmaterialernes farve, blot gør dem mørkere. Kraftigere udfældninger bliver hvide, og i sjældne tilfælde fremkaldes forvitring.

Gips er kun til en vis grad opløseligt i vand – 2 g/liter. Der skal derfor ret store vandmængder til for at opløse og udfælde gips. Gips findes bl.a. i murværksmaterialer, især gult tegl, ældre rødt tegl og cement i mørtel. Gips kan også dannes ved reaktion mellem kalk og svovlsur luft.

Eksempel: D, G, J.

Calciumnitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)

Dette salt findes typisk, hvor der gennem længere tid har været holdt husdyr som svin og kvæg. Det kan derfor findes i murværk i stalde. Men også selve jorden i gamle landsbyer kan af samme grund være en kilde.

Calciumnitrat er meget opløseligt 1200 g/liter.

Det fælder ud ved luftfugtigheder under 56 %, dvs. det normalt vil være i opløsning.

Eksempel: A.

Andre salte

Andre salte man kan møde i murværk er:

- Natriumcarbonat (soda), f.eks. fra facaderensningsmidlerne. Natriumhydroxid og natriumhydrogencarboanat (bagepulver)
- Calciumsulfaminat, fra afsyring med sulfaminsyre
- Calciumacetat, fra afsyring med eddikesyre

På mange måder kan også calciumhydroxid (læsket kalk, hydratkalk) i frisk mørtel betragtes som et salt. Det har en opløselighed omtrent som gips og spaltes i positive calciumioner og negative hydroxidioner. Det vil ligesom andre salte vandre med fugt, det er forklaringen på mange kalkmisfarvninger. Men i modsætning til de andre salte forsvinder det som salt, idet det jo ved mørtelhærdningen carbonatiserer og bliver til uopløseligt calciumcarbonat.

Derimod er magnesiumsalte uden betydning i Danmark, modsat f.eks. Sydeuropa og en del områder i USA.

Undersøgelsesmetoder

Med kemisk analyse kan man dels identificere salte, dels bestemme mængden af dem.

Til kortlægning af saltes fordeling i murværk anbefales boreprøver og efterfølgende bestemmelser af hygroskopisk, fri og total fugt. Undersøgelser har vist, at indholdet af salte i vægt % omtrent svarer til indholdet af hygroskopisk fugt ved 75 % RH. Da fugt og salte altid er ulige fordelt i murværksmaterialerne, skal boreprøver udtages parvis i både tegl og mørtelfuger, samt i evt. pudsmørtel.

Udbedring

Som allerede nævnt er udbedring af saltskader i murværk en kompliceret opgave, der af og til grænser til det umulige.

Men følgende trin må indgå:

Stop for tilførsel af yderligere salte. Det kan f.eks. dreje sig om at undgå tørsaltning eller fjerne oplagret salt inde i bygningen.

Stop for tilførsel af yderligere vand/fugt. Det kan f.eks. dreje sig om etablering af fugtspærre, reparation af utætte nedløbsrør, udskiftning af uhensigtsmæssig overfladebehandling.

Fjernelse af løse saltudfældninger: Udblomstringer (mursalpeter mm.) kan afbørstes. Men udendørs forsvinder løse saltudfældninger oftest af sig selv

Fjernelse af stabile misfarvninger, der oftest vil være gips. Her til kræves mekaniske eller kemiske metoder, der hver især indebærer forskellige risici for murværksmaterialerne.

Når det så er gjort, kan man overveje at udskifte skadede materialer:

- Forvitrede teglsten, især røde. Det vil ofte dreje sig om de lavest brændte. De har størst porøsitet og tiltrækker dermed mest fugt og salt, samtidig med at de har lavest styrke. I pudset murværk kan man med fordel indsætte gule teglsten, som ikke vil være følsomme over for frost.
- Omfugning. Her skal der vælges en mørtel med relativ stor styrke, da der kan forventes en opkoncentrering af salte netop i omfugningsmørtlen.

Bl.a. i Tyskland er der udviklet såkaldt saneringspuds (Sanierputz). Mørtlen er relativ stærk pga. cementindhold, den er meget porøs pga. luftblandingsmidler eller opblæret vulkansk glas. Mørtlen vil trække fugt og dermed salte til sig, men porøsiteten gør, at saltene fælder ud inde i mørtlen, og derfor ikke når overfladen.

Et indvendigt alternativ kan være en ren kalkpuds, idet fugt og salte som før nævnt ikke koncentrerer i kalkmørtel.

Århus, den [dato]
Teknologisk Institut, Byggeri

Helge Hansen /

Dir. tlf.: 72 20 38 27
E-mail: hlh@teknologisk.dk

Litteratur:

- GI-brochure for Teknisk Rådgivning
- Nat.mus. konference

Eksempel A

Rødt tegl forvitrer i stald

I staldmurværk finder man ofte meget store mængder salte. Det er nitrater, der stammer fra husdyrene.



I dette tilfælde er stalden fra 1897 på en mindre østjyskherregård, så godt 100 års nitratproduktion er vandret op i murværket med den opstigende grundfugt. Men der har ligget en herregård på stedet, i hvert fald siden 1424, så der kan være ophobet meget mere nitrat i jorden, som kan komme op med opstigende grundfugt.

Murværket er opmuret i ren kalkmørtel og fuget med en indfarvet bastardmørtel (kalkcementmørtel). Så fugt og salte vil blive koncentreret i teglstenene og i fugemørtlen.

Man ser da også forvitring af teglsten, men kun de røde. Og man ser forvitring af fugemørtel men ikke af den svagere muremørtel.

Eksempel B

100 års saltlagring

Omfattende saltskader ses ofte i bygninger, hvor der har været anvendt eller oplagret store mængder salt. Typiske eksempler er pakhuse, mejerier og svømmehaller.



Her ses murværk fra et pakhus på over 100 år i Københavns Frihavn. I et pakhus kan der være tale om mange slags salte, ikke bare natriumchlorid, men også f.eks. forskellige typer kunstgødning.

Saltene medfører misfarvninger, udblomstringer og forvitring, især af de røde teglsten og den cementholdige fugemørtel.

Pakhusene stod for nedrivning, og man overvejede at genanvende teglstenene i nyt murværk. Men det ny murværk ville blot have arvet saltproblemerne.

Eksempel C

Saltskader efter renovering

Renovering foretages ofte pga. fugt- og saltproblemer, men det er ikke det samme som at de dermed bliver løst. Det kan faktisk ske, at de forværres.



I dette tilfælde er en bygning fra midten af 1800-tallet blevet renoveret. I soklen, som er i rødt murværk, er der injiceret en boremørtel for at standse opstigende grundfugt. Facaderne er blevet omfugtet med en kalkcementmørtel eller en hydraulisk kalkmørtel.

Den opstigende grundfugt er ikke blevet standset. Den når nu op i flere meters højde via det oprindelige murværk med kalkmørtel. Mere tætte fuger tvinger den måske længere op. Der ses forvitring af både tegl og fugemørtel, hvor fugten når til, og saltene udfældes. Omfugningsmørtlen vil pga. sammensætningen tiltrække fugt og salte, få dårlige hærdningsbetingelser og dermed være udsat for forvitring.

Ved soklen ses kraftige udfældninger af natriumsulfat. De kan komme fra undergrunden med den opstigende grundfugt, fra murværksmaterialerne, men injiceringsmidlet er også en mulig kilde.

Eksempel D

Forsinket mursalpeter

Rødt dansk tegl vil normalt have et meget lavt saltindhold, i hvert fald hvis det er nyt. Men undersøgelser viser, at det ikke altid har været sådan.



Der er tale om en nordfacade på en boligblok fra 1947. I forbindelse med renovering af taget blev store vandmængder ledt ned over murværket. Herefter ses både lyse og mørke misfarvninger.

Analyser viser, at misfarvningerne består af gips (calciumsulfat). Analyser viser også, at det røde teglmateriale indeholder ca. 5 gange så meget sulfat som nutidigt rødt tegl. Det høje sulfatindhold i tidligere tiders rødt tegl må skyldes brændingsprocessen, især brændstoffet: kul eller olie som kunne være stærkt svovlholdigt. Ved forbrændingen dannes svovldioxid eller svovltrioxid, som reagerer videre med teglmaterialet til sulfat. Det nuværende brændstof på teglværkerne – naturgas – indeholder ikke svovl. Når murværket udsættes for vand, opløses sulfater og de udfældes, hvor vandet fordamper på murværkets synsflader, oftest på syd- og vestfacader, der er mest

vandbelastede. Fænomenet kendes under navnet ”mursalpeter”, selv om det er sulfater. Normalt forsvinder ”mursalpeter” af sig selv i løbet af kort tid.

Her er der tale om en nordfacade. At gipsen først fremkommer nu efter mere end 60 år skyldes givetvis, at denne nordfacade med det store udhæng aldrig har været vandbelastet, før taget blev renoveret.

Eksempel E

Salt i kældervægge

På kældervægge er saltudfældninger meget almindelige. Ofte har saltene karakter af uld, der vokser på overfladen. Af og til forvitrer især puds omkring udfældningerne. Kemiske analyser viser, at saltet normalt er natriumsulfat.



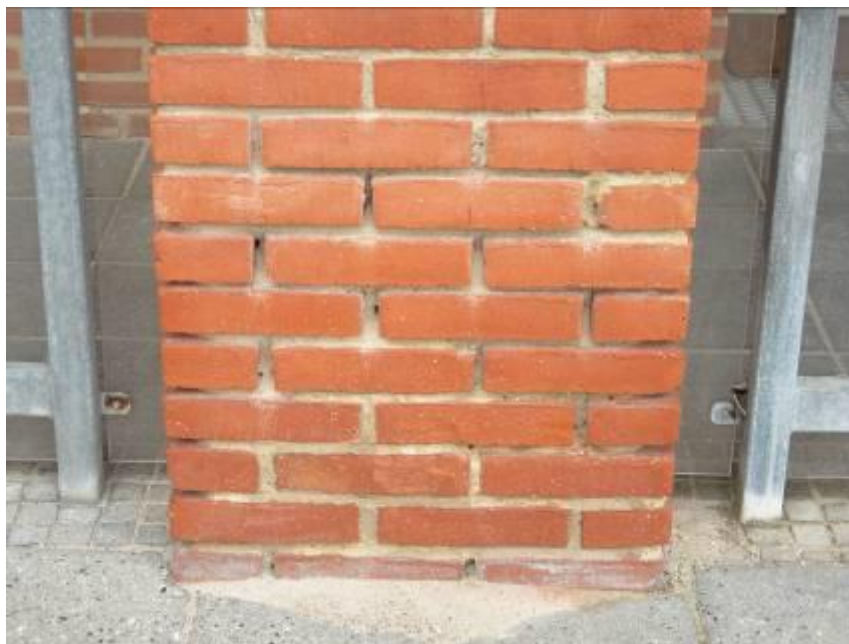
Her er kælderen fra 1970. Salt vandrer opad med den opstigende grundfugt. Der er pudset med en kalkcementmørtel, så det er sandsynligt, at en stor del af transporten sker i pudslaget. Men fugten når ikke langt. Lige over fliserne fordamper vandet, og saltene fælder ud. Fugtmålinger i udfældningszonen viser normalt 2 – 4 % fugt i murværket.

Saltene kan komme med den opstigende grundfugt, de kan stamme fra byggematerialerne, og her måske endog fra en kemisk injicering, der skulle stoppe fugten, men ikke rigtigt virkede.

Eksempel F

Tøsaltning

Saltskader pga. tøsaltning er et klassisk problem. Især kan der forekomme omfattende forvitring af rødt tegl.



I dette tilfælde er murværket 28 år. Fugtspærren er placeret under terræn, så det porøse murværk vil opsuge vand og dermed salte. Murværket støder op til flisearealer, hvor der tøsaltes. Skader ses som dybtgående fugeforvitring og som afmeling af de røde tegl-overflader. Nederst er der allerede omfuget, men denne mørtel forvitrer også.

I boreprøver fandt man disse fugtindhold i %.

Skifte over terræn	Materiale	Hygroskopisk fugt	Fri fugt	Total fugt
12.	Tegl (intakt)	0,6	-0,3	0,3
	Mørtel (intakt)	2,7	-0,3	2,4
8.	Tegl (forvitret)	1,6	-0,4	1,2
	Mørtel (forvitret)	2,8	-0,8	2,0
4.	Tegl (forvitret)	1,1	1,1	2,2
	Mørtel (forvitret)	2,4	1,5	3,9
2.	Tegl (forvitret)	0,1	4,1	4,2
	Mørtel (omfuget og forvitret)	0,7	4,9	5,6

Det ses, at fugtindholdet er størst nederst, men det er næsten udelukkende fri fugt. Det hygroskopiske indhold og dermed indholdet af salt er lavt. Længere oppe er det hygroskopiske indhold højt og det fri fugtindhold lavt. Det er her vandet fordamper, og det opløste salt afsættes.

Fugt og salte er som normalt for murværk med kalkcementmørtel koncentreret i fugerne. Forvitringen er givetvis startet for neden og har siden bevæget sig op ad.

Eksempel G

GIPS – MISFARVNING OG FORVITRING

Gips (calciumsulfat) giver normalt mørke misfarvninger, af til også hvide, og i sjældne tilfælde ser man også forvittringer af tegloverflader.



Her er der tale om et tiårigt parcelhus i rosé blødstøgne teglsten. Der ses både mørke og lyse gipsmisfarvninger samt forvittringer af de rosé tegloverflader.

Fugtmålinger viser, at lyse misfarvninger og forvittringer forekommer på stenene med de højeste vandindhold. I sten uden misfarvninger eller forvittringer er vandindholdet minimalt.

Bag formuren var isoleringen fugtig. Det viste sig, at der fra undertaget blev ledt vand ned på formurens bagside.

Dette vand har opløst teglstenenes gipsindhold på sin vej ud mod stenenes synsflader. Her er gipsen udfældet. Og udfældningerne har altså været så kraftige, at de har kunnet forårsage ikke blot misfarvninger, men ligefrem forvittringer.

Eksempel H

Oversvømmelse af nyt murværk

I Danmark er der aldrig langt til havet, højst ca. 50 km. Salt fra havet er derfor mange steder en evig kilde til problemer i murværk. Luftbåret salt (havgus) er nok det største problem, men også oversvømmelser har deres virkning.



Her er der tale om helt nyopført murværk i en by ved Limfjorden. Få måneder efter opmuringen blev store dele af byen – herunder denne bygning – oversvømmet. Saltudfældningerne viser tydeligt, hvor højt fjorden nåede.



Lidt tættere på ses at saltudfældningerne for en stor del kan ligge langs kanten af teglstenene. Det antyder at en del kan komme fra mørtelfugerne.

Kemisk analyse af det udfældede saltmateriale viste:

Natrium, Na	17,5 %
Kalium, K	1,54 %
Magnesium, Mg	0,021 %
Calcium, Ca	0,038 %
Sulfat, SO_4^{2-}	3,43 %
Chlorid, Cl^-	7,73 %

Det ses, at en dominerende del af saltmaterialet er natriumchlorid, som må stamme fra fjordvandet. Men en meget stor del er natrium og kaliumsulfat, som må stamme fra byggematerialerne, altså det der ofte betegnes som ”mursalpeter”. Da der her er rødt tegl, er mørtlens cementindhold givetvis den vigtigste kilde. Men det er fjordvandet, der har opløst sulfaterne og afsat dem på murværkets overflade.

Eksempel I

Afsyring og fugeforvitring

Når murværk afsyres reagerer syren med kalk, og der dannes calciumsalte. Når saltsyre reagerer med kalk, dannes saltet calciumchlorid. Dette salt er stærkt hygroskopisk, og det kan danne komplicerede forbindelser med uhærdnet kalk. Det kan være årsag til både misfarvning og forvitring.



Umiddelbart efter en kraftig afsyring med saltsyre ses mørke felter midt på fugerne. Phenolphthaleintest giver rød reaktion netop i de mørke felter. Det viser, at mørtlen her ikke er færdighærdnet.



I værste tilfælde forvitrer mørtlen bag de mørke felter. I dette tilfælde er der tale om fritstående 30-årigt murværk, der er omfuget Kraftig afsyring, dårlig afdækning og frost har i fællesskab fremkaldt forvittringerne.

Calciumchlorid er meget opløseligt, allerede ved ca. 25 % luftfugtighed opløses det, så man ser i praksis aldrig udfældet ren calciumchlorid. Det er saltets reaktivitet, der gør det kritisk.

Eksempel J

Salt fra tegl og mørtel

I ældre rødt murværk vil man ofte se, at stenenes farve varierer fra lys rød til mørk rødbrun. Det skyldes, at stenene under brændingen i ringovnen har nået forskellige toptemperaturer.

Man vil ofte se at de lyseste røde sten forvitrer.



På billedet ses murværk fra 1951. Ud fra farven kan brændingstemperaturen på de lyseste sten anslås til 850° C, mens de mørkeste sten har været oppe på m 1050° C.

Saltindholdet i en forvitrende lys teglsten blev bestemt

Komponent	Vægt%
Natrium, Na	0,073
Kalium, K	0,045
Magnesium, Mg	0,043
Calcium, Ca	0,194
Sulfat, SO ₄ ²⁻	0,45
Chlorid, Cl ⁻	0,39
I alt	1,19

Der er altså tale om flere forskellige salte, og der må være mere end én kilde. Men meget tyder på, at de kommer fra selve murværksmaterialerne. Natrium og chlorid kunne her stamme fra søsandet i muremørtlen.

Andre saltkomponenter – især sulfater - stammer sandsynligvis fra selve teglbrændingsprocessen. I ovnen fordamper salte ved høj temperatur, men fortættes ved lavere temperaturer (800 – 900° C). Derfor kan salte overføres fra de højest brændte sten til de lavest brændte. Da disse samtidig er de mest porøse og de svageste, vil de være særligt udsatte for forvitring.

I brudflade inde i teglstenen kunne der ligefrem synlige saltudfældninger.