

# 28/65

Torben C. Hansen :

## MATERIALVETENSKAP OCH VÄG- OCH VATTENBYGGNAD

Eftertryck ur Teknisk Tidskrift 34:1965

Rapport från Byggforskningen, Stockholm

Rapport 28:1965

UDK 620.2:625.7  
620.2:626/627

# Materialvetenskap och väg- och vattenbyggnad

*Science of Engineering and Building Materials  
and Civil Engineering Work*

av tekn. dr *Torben C. Hansen*  
Cement- och Betonginstitutet, Stockholm

Utgivare : Statens institut för byggnadsforskning

---

Denna rapport utges med medel från fonden för byggnadsforskning enligt byggnadsforskningsrådets beslut; försäljningsintäkterna tillfaller fonden.

# Materialvetenskap och väg- och vattenbyggnad



TEKN. DR TORBEN C HANSEN, STOCKHOLM

Materialvetenskap som separat disciplin har i USA under det senaste decenniet rönt stark uppmärksamhet och utvecklats snabbt. Framstegen på området i Sverige har varit dröjande. På väg- och vattenbyggnadsområdet i Sverige har man emellertid uppmärksammat den amerikanska utvecklingen liksom diskussionen bland bergsmännen om undervisningen inom området materialvetenskap. En grundkurs i läroämnet byggnadsmaterialvetenskap torde vara nödvändig för framtida väg- och vattenbyggare och ett förslag till en sådan skisseras.

Tekniska nyskapelser som kärnreaktorer, raketvapen och rymdfarkoster ställer helt andra krav på sina byggnadsmaterial än konventionella byggnads- och maskinkonstruktioner. Utveckling av nya material och anpassning av traditionella material till nya behov är uppgifter som den empiriska och deskriptiva materialläran icke har kunnat lösa. Det har därför blivit nödvändigt att utröna de fysikaliska, kemiska och mekaniska principerna för materialens strukturuppbyggnad och beteende.

I USA har man satsat hårt på en förstärkning av materiallärans vetenskapliga bas genom ett organiserat samarbete mellan kemister, fysiker med fasta ämnen som specialitet samt metallurjer och materialforskare inom de mest skilda områden. Resultaten av denna forskning ligger till grund för utvecklingen av materialvetenskapen ("materials science"). Denna räknas nu till grundvetenskaperna vid amerikanska universitet. Att utvecklingen på området har förbisett vid europeiska tekniska högskolor tyder på, att det skall mera till än snabba kommunikationer och internationella kongresser för att skapa kontakt mellan två kontinenter.

Att utvecklingen skett på områden som ligger ganska fjärran från väg- och vattenbyggarnas vanliga arbetsfält (jfr Tekn. T. 1964 s. 1051) förklarar, varför materialvetenskapen ännu icke har haft något större infly-

tande på byggnadsmaterialläran eller övriga väg- och vattenbyggnadsämnen. I rättvisans namn måste emellertid nämnas, att svenska silikat- och cementforskare mycket tidigt har insett betydelsen av en vetenskaplig behandling av materialtekniska problem.<sup>2, 3, 4, 5</sup>

## Vad är materialvetenskap?

Materiallärans plats i modern ingenjörutbildning har behandlats dels i en omfattande rapport<sup>6</sup> från American Society of Engineering Education (ASEE), dels i en rapport<sup>7</sup> från "subcommittee 6 of ASEE follow-up committee". I den senare anges tre väsentliga orsaker till den reviderade uppfattningen om materiallärans betydelse inom ingenjörutbildningen.

För det första måste ingenjören i sitt dagliga arbete kunna värdera och utnyttja ett långt större antal material än fallet var tidigare. Nya material kommer dagligen till och det är icke längre rimligt att kräva att ingenjören i detalj skall känna till egenskaper och brister hos alla dessa material.

För det andra utnyttjas materialens egenskaper av ekonomiska skäl mycket hårdare än fallet var tidigare och man arbetar med lägre säkerhetsmarginaler. För att kunna utnyttja materialen till gränsen av deras förmåga krävs en intim kännedom om materialens struktur och egenskaper.

För det tredje har man kunnat ut-

röna lagar och gemensamma principer som förenar större grupper av material. Materialkonst har blivit materialvetenskap.

Kommittén tog ställning till frågan, om huvudvikten inom modern ingenjörutbildning skall läggas på undervisning i materialvetenskap eller på undervisning i deskriptiv materiallära. Man anser att det vore önskvärt att inkludera i undervisningen såväl de grundläggande fysikaliska principerna som läran om framställning, provning och praktisk användning av materialen.

Måste man välja, anser kommittén dock, att huvudvikten bör läggas på undervisning i de grundläggande principerna. Den praktiska bakgrunden kan en ingenjör skaffa sig senare. Det är långt svårare för honom att tillägna sig de vetenskapliga grundprinciperna genom självstudium, och det är dessa principer som inom såväl materialläran som alla andra ingenjörsvetenskaper skall bilda en bas för varje ingenjörs yrkesutveckling. Kommittén definierar materialvetenskap så:

"Thus, the subject becomes a study of the interrelationship among properties, environment, and structure".

Materialvetenskap är alltså läran om sambandet mellan materialens struktur och dess beteende under yttre och inre påverkan.

Materialvetenskapen omfattar allmänna principer för strukturbildning hos material samt lagar för bestäm-

620.2 : 625.7  
620.2 : 626/627

ning av materialens egenskaper som funktion av struktur och påverkan.

Många olika vetenskaper är representerade inom materialläran, tabell 1. Det är uppenbart att t.ex. ett studium av inflytandet av elektriska och magnetiska fält på elementarpartiklar och atomer hör till atomfysiken. Inflytandet av mekaniska kraftfält på atomkomplex kan studeras inom kristallografin, medan inflytandet av mekaniska kraftfält på flerfasset system som t.ex. betong eller polykristallina material kan studeras inom elasticitetsteorin, plasticitetsteorin, reologin eller inom de fasta ämnens fysik. Vidare gäller att ett studium av inflytandet av kemisk påverkan på materialen, som t.ex. korrosion, hör till den fysikaliska kemin, medan strukturbildning studeras av metallurgen, mineralogen, kristallografer och andra forskare som har specialiserat sig på de mest skilda områden. I verkligheten ingår element av de flesta vetenskaper på ett eller annat sätt i materialvetenskapen.

Vilka delar av materialläran som är av intresse beror framför allt på vilken yrkesgren vederbörande ingenjör tillhör. Det är naturligt att elektrotekniker är mera intresserade av materialens elektriska och magnetiska egenskaper än de är av mekaniska egenskaper, medan det motsatta gäller för väg- och vattenbyggare och mekaniker. Reaktoringenjören är speciellt intresserad av bestrålning medan fuktdiffusion är ett stort byggnadstekniskt problem. Eftersom intressena sålunda är olika, bär ingenjörerna inom varje yrkesgren huvudansvaret för utveckling och systematisering av den egna speciella delen av materialvetenskapen.

## Undervisning i materialvetenskap i USA

På bas av detaljerade rekommendationer från American Society of Engineering Education har många amerikanska universitet utarbetat program för ingenjörutbildning i materialvetenskap. Programmen har som oftast tillkommit genom ett samarbete mellan universitetens avdelningar för teknisk fysik och metallurgi och de följer ungefär samma linjer vid olika universitet. Efter de obligatoriska, elementära kurserna i fysik och kemi föl-

Tabell 1. Materialvetenskapens omfattning

Struktur	Påverkan
Elementarpartiklar och atomer	Tid
Atomkomplex	Temperatur
En-fas-system	Fukt
	Bestrålning
	Kemisk påverkan
Fler-fas-system	Mekaniskt kraftfält
Sammansatta system	Elektriskt kraftfält
	Magnetiskt kraftfält

### Materialegenskaper

jer för andra årskursen en grundkurs i materialvetenskap. Denna grundkurs är ofta gemensam för t.ex. elektrotekniker, väg- och vattenbyggare och mekaniker. För tredje eller fjärde årskursen anordnas sedan speciella påbyggnadskurser inom de olika avdelningarna.

Vid vissa universitet har man därutöver infört en helt ny utbildningsriktning för "materials engineers". Vid Stanford-universitetet i Kalifornien står en lång rad kurser till buds för de studerande inom denna riktning, tabell 2. Institutionen för materialvetenskap vid detta universitet har icke mindre än tolv professorer.

I kursöversikten i tabell 2 har icke medtagits grundkursen eller specialkurser för andra avdelningar. Undervisning i grundkursen meddelas av en professor vid avdelningen för materialvetenskap, medan ansvaret för nämnda specialkurser vilar på professorerna inom respektive avdelningar.

Vid amerikanska universitet har man lagt huvudvikten inom undervisningen i materialvetenskap på teknisk-fysikaliska egenskaper hos relativt välkristalliserade och täta material speciellt metaller, medan material innehållande mikrokristallina eller kolloidala partiklar, material med avsevärd porositet, och sammansatta material endast behandlas mycket perifert. En betydande del av vissa byggnadsmaterials ogynnsamma egenskaper beror på dessa materials kolloidala och porösa struktur. Ofta läggs stor vikt vid elektriska och magnetiska egenskaper, medan de mekaniska egenskaperna tillmätts mindre betydelse. Därvid har i USA uppkommit svårigheter att på basis av "den allmänna kursen" i ma-

terialvetenskap planera specialkurser i byggnadsmateriallära för väg- och vattenbyggare.

För den allmänna kursen i materialvetenskap används ofta Van Vlack's lärobok, "Elements of materials science"<sup>10</sup>, medan "Engineering materials science"<sup>11</sup> av C W Richards är populär vid påbyggnadskursen för väg- och vattenbyggare. Under det att böckerna var för sig täcker vissa delar av materialvetenskapen på ett omordentligt bra sätt, tillfredsställer de knappast väg- och vattenbyggarnas speciella behov. Dessa två böcker avslöjar några av svårigheterna att anpassa undervisningen i materialvetenskap till praktiska behov.

Vid planering av grundläggande

Tabell 2. Kurser i materialvetenskap vid Stanford-universitetet

### Grundläggande kurser

Fysikalisk kemi för ämnen i fast tillstånd  
 Termodynamik för ämnen i fast tillstånd  
 Fasjämvikt för ämnen i fast tillstånd  
 Kvantteori för ämnen i fast tillstånd  
 Statistisk termodynamik  
 Ytor och fasgränser  
 Fastransformationer i fasta ämnen  
 Kristallografi  
 Defekter i kristallina material  
 Kristallbildning och kristalltillväxt  
 Fotoelektriska processer i kristaller  
 Elektriska ledningsfenomen i kristaller  
 Materialtransport och tillväxtprocesser i fasta ämnen  
 Materialegenskapernas beroende av strukturen

### Materialegenskaper

Fysikalisk struktur och mekanisk hållfasthet  
 Fasta ämnens mekaniska egenskaper  
 Korrosion och elektrometallurgi  
 Fasta ämnens magnetiska och elektriska egenskaper  
 Brottfenomen i fasta ämnen  
 Anisotropi i kristaller  
 Plasticitet och krypning

### Undersökningsmetoder

Diffraction och spektroskopi  
 Elektronmikroskopi

### Speciella material

Principer för pulvermetallurgi  
 Högtemperaturmaterial  
 Material för kärnreaktorer

### Tekniska aspekter

Industriell metallurgi  
 Ekonomisk och teknisk jämförande materiallära

Tabell 3. Förslag till grundkurs i materials struktur och egenskaper

### 1 Interatomära krafter

- Atomens struktur
- Primära bindningar
  - Jonbindningar
  - Kovalenta bindningar
  - Metallbindningar
- Sekundära bindningar (Van der Waals-krafter)
  - Molekylär polarisation
  - Dispersionseffekter
  - Effekter av permanenta dipoler
  - Vätebindningar

### 2 Atomkomplex

- Molekylärstruktur
- Kristallstruktur
  - Molekylkristaller
  - Jonkristaller
  - Metallkristaller
- Mikrokristallin och kolloidal struktur
- Amorf struktur
- Definition av faser

### 3 Enfassystem

- Metalliska faser och deras egenskaper
  - Rena metaller och fasta lösningar
  - Deformations- och brottmekanismer
  - Påverkan av struktur och egenskaper genom termisk behandling
  - Påverkan av struktur och egenskaper genom mekanisk behandling
  - Kornstrukturens inverkan på egenskaperna
- Keramiska faser och deras egenskaper
  - Keramiska fasers kristallstruktur (speciellt silikatstrukturer)
  - Deformations- och brottmekanismer
- Organiska faser och deras egenskaper
  - Polymerisationsmekanismer
  - Inflytande av polymerstruktur på egenskaper (speciellt deformations- och brottmekanismer)

### 4 Flerfassystem

Se tabell 4

### 5 Sammansatta strukturer

Armerad betong, armerad plast, laminater, trä etc.

### 6 Mekaniskt beteende

- Hållfasthet och deformation under spänning
  - Dragning
  - Tryck
  - Böjning
  - Komplexa spänningstillstånd
  - Hårdhet
  - Avnötning
- Hållfasthet och deformation under spänning, tid och temperatur
  - Dynamiska egenskaper
  - Utmattning
  - Krypning och andra tidsberoende deformationer

### 7 Fysikaliska egenskaper

- Elektriska och magnetiska egenskaper
- Hygro-termiska egenskaper
- Beständighet och åldrande
- Vikt
- Diffusion

kurser i materialvetenskap gemensamt för flera avdelningar är det nödvändigt, att de studerande inom samtliga berörda avdelningar bibringas sådana

kunskaper om samverkan mellan materialens struktur, egenskaper och olika påverkan, att specialkurser inom dessa avdelningar utan svårighet kan

läggas upp på bas av grundkursen. Illustrerande exempel på material bör därför väljas inom samtliga dessa avdelningars arbetsområden och samma vikt bör läggas vid materialens mekaniska egenskaper som vid kemiska och fysikaliska egenskaper.

Om en sådan gemensam grundkurs icke kan åstadkommas, förefaller det mera lämpligt att en speciell grundkurs ordnas för väg- och vattenbyggnad. I syfte att stimulera till diskussion framlägger jag här ett första förslag till en sådan kurs, tabell 3 och 4.

Till kursförslaget kan anmärkas, att ifråga om undervisningen om metalliska enfassystem bör illustrerade exempel väljas med anknytning till byggnadsindustrin, t.ex. järn, koppar, aluminium, magnesium m.fl. För keramiska enfassystem och deras egenskaper bör behandlingen leda till förståelse för beteendet hos komplicerade silikatstrukturer såsom stengods, porslin, tegel, bergarter, lera, gips, kalk och cement. På samma sätt bör behandlingen av organiska faser och deras egenskaper leda fram till förståelse för beteendet hos gummi och plast, lim, trä, cellulosa produkter, textilier, asfalt m.m.

Som exempel på strukturbildning hos tvåfassystem kan väljas järn-kol-legeringar, medan cement lämpligt kan illustrera förhållandena vid flerfassystem. Betong kan illustrera sambanden mellan struktur och egenskaper hos heterogena flerfassystem. För sammansatta strukturer väljs exempel bland byggnadsmaterial såsom armerad betong, armerad plast, laminater, trä etc.

I fråga om materialens mekaniska beteende (hållfasthet och deformation under spänning) bör behandlingen leda fram till förståelse för elasticitets-, plasticitets- och brottheorier. Beteendet under tid- och temperaturinflytanden bör behandlas, så att framställningen leder fram till förståelse för viskositets- och viskoelasticitetsteorier, allmän reologi samt dualiteten mellan tid och temperatur.

### Praktiska möjligheter för undervisning

Även om byggnadsmaterialforskningen i huvudsak är empirisk, pågår vetenskaplig forskning av hög klass. Re-

Tabell 4. Flerfasset system

Strukturbildning		} Förhållandena vid fasjämvikt	} Förhållandena när fasjämvikt ej råder
Kvalitativa fassamband			
Kvantitativa fassamband			
Trefasssystem			
Reaktioner i fasta ämnen			
"T-T-T"-kurvor			
Strukturtyper			
Dispersionsmedel	Dispers fas	Resultande materia	Exempel
fast fas	fast fas	fast suspension, blandning	stål och andra legeringar, cementklinker, naturlig sten, tegel, hårdnad betong, stengods, porslin etc.
fast fas	vätskefas	fast emulsion, ev. gel	hårdnad cementpasta, lera etc.
fast fas	luftfas	fast skum	isoleringsmaterial, skumgummi, skumplast, lättbetong etc.
vätskefas	fast fas	suspension, ev. sol	färsk cementpasta, färskt cementbruk, färsk betong, asfaltbetong, målarfärg, linoleum etc.
vätskefas	vätskefas	emulsion	asfaltemulsioner
vätskefas	luftfas	skum	brandsläckningsmedel, skum från tvättmedel (detergents)
luftfas	fast fas	aerosol, ev. pulver	utfall, rök, smog, cement, sand, grus, övriga pulverformiga material
luftfas	vätskefas	dimma	vattenånga
luftfas	luftfas	luftblandning	atmosfärisk luft

sultaten av denna forskning är kanske icke tillräckliga för att bilda underlag för en fullständig kurs i byggnadsmaterialvetenskap, men kunskapsvolymen är dock så omfattande att de flesta frågor av större betydelse för väg- och vattenbyggare kan belysas från vetenskaplig synvinkel.

Man måste kräva att de studerande genom undervisningen i materialvetenskap får en klar bild av dagens läge och därigenom ges en möjlighet att kunna utnyttja den framtida forskningens resultat. Detta bör icke ske på bekostnad av kunskaper om de aktuella byggnadsmaterialens egenskaper. Bristerna i vårt vetande, och därmed de områden där de mest påtagliga riskerna för praktiskt misslyckande föreligger, kan avslöjas genom undervisning i materialvetenskap, medan dessa brister ofta döljs i den deskriptiva materialläran.

En undervisning i byggnadsmaterialvetenskap ställer stora anspråk på läraren. Förutom att vara en god pedagog måste han vara välbevandrad inom fysik och kemi. Han måste ha god kännedom om väg- och vattenbyggarnas praktiska problem och samtidigt helst ha personlig erfarenhet

från forskning åtminstone inom metaller, cement och betong, plast och trä.

Det finns knappast någon som uppfyller samtliga dessa fordringar, men kraven på allsidighet kvarstår, om undervisningen skall få praktisk betydelse och icke bli en utbildning för en liten elit av framtida forskare. Ett sätt att lösa problemet vore att lägga upp kurserna genom ett samarbete mellan experter representerande de olika och skilda områdena.

Vid amerikanska universitet är det normalt att nya kurser planeras genom direkt samarbete mellan professorer vid samma eller skilda institutioner och avdelningar. Undervisningsbördan lättas avsevärt för de fakultetsmedlemmar som arbetar på uppläggning av nya kurser inom den egna eller inom andra institutioner och avdelningar.

I Sverige kunde ett sådant samarbete eventuellt ordnas i form av en kommitté med representanter från högskolor, branschforskningsinstitut och byggnadsindustri. Ett sådant samarbete är vanligt t.ex. inom statliga normkommittéer och det är rimligt att anta att det även skulle visa sig frukt-

bringande vid uppläggning av kurser vid högskolorna.

## Behovet av undervisning

Med tanke på de stora materialmängder som förbrukas av byggnadsindustrin och på de stora ekonomiska investeringar som årligen förmedlas av denna industri är det förvånande, att väg- och vattenbyggare visar ett ganska litet intresse för materialproblemen.

Byggnadsverk dimensioneras i allmänhet för hållfasthet enligt elasticitets- eller plasticitetsteorin, medan andra egenskaper av samma eller större betydelse lämnas åt sidan. I många fall uppför byggnadsmaterialen sig varken elastiskt eller plastiskt och den statiska beräkningen är därför ofta ett teoretiskt mästerverk som har litet med verkligheten att göra. I många fall är beständighet, deformationer eller kvalitén på utförandet mera avgörande än hållfastheten för en konstruktions ändamålsenlighet och livslängd.

Genom en differentiering av dimensioneringsmetoderna så att dessa kommer att ta hänsyn till materialens verkliga egenskaper, är det möjligt att åstadkomma ett mera rationellt bruk av byggnadsmaterialen. Stora krav på materialkunskap kommer att ställas både på de få väg- och vattenbyggare som skall utforma framtidens normer och på de många som skall utnyttja föreskrifterna.

Byggnadsindustrin kommer i framtiden att översvämmas av en stigande flod av nya byggnadsmaterial. Bristande förmåga att bedöma dessa material kommer antingen att leda till en överdriven konservatism eller till ett dyrbart experimenterande. Undervisning i byggnadsmaterialvetenskap är nödvändig för att väg- och vattenbyggare skall kunna göra ett systematiskt i stället för ett slumpartat materialval. Detta blir särskilt kritiskt inom det fullt industrialiserade byggandet, där man kommer att röra sig med ett mycket större antal material än inom det traditionella byggandet. Ökad materialkunskap hos väg- och vattenbyggarna blir därvid en nödvändig förutsättning för industrialisering av byggnadsbranschen.

Många byggnadskonstruktionsdelar

och installationer skulle kunna utföras med mera ändamålsenliga material än vad som nu står till buds. Undervisning i materialvetenskap är en nödvändig förutsättning för effektiv materialforskning och därigenom för utveckling av traditionella såväl som nya byggnadsmaterial. Det åligger väg- och vattenbyggarna att själva leda utvecklingen på byggnadsmaterialområdet. Och det bör inte vara materialfabrikanterna som styr den. Orsaken till stagnationen inom byggnadsmaterialforskningen är främst att väg- och vattenbyggare saknar den nödvändiga bakgrunden för att effektivt kunna bedriva sådan forskning.

### Slutord

Det är en grundregel för all ingenjörsutbildning att den bör vila på en bas

av sunda vetenskapliga principer. Detta har hittills visat sig leda till påtagliga tekniska framsteg. Det finns ingen anledning att materialläran i detta avseende skulle vara något undantag.

Man gör icke dagens teknologer någon tjänst genom att underlätta studierna och därigenom avskära en hel generation av väg- och vattenbyggare från att tillgodogöra sig resultaten av en snabb utveckling som inom kort kommer att revolutionera materialindustrin och som i det tysta redan har haft stort inflytande på såväl materialforskning som utbildning i USA.

Vid uppläggning av undervisningen i materialvetenskap är det emellertid icke nödvändigt att Sverige följer samma utveckling som USA. Man bör därför försöka att åtminstone undvika att upprepa misstagen vid uppläggning av undervisningen i byggnadsmaterialvetenskap.

### Litteratur

1. Hillert, M: *Materialvetenskap och bergsvetenskap*. Tekn. T. 94 (1964) s. 1051.
2. Werner, D & Giertz-Hedström, S: *Samband mellan fysikaliskt-kemiska och tekniskt viktiga egenskaper hos betong*. Tekn. T. 61 (1931) s. V 45.
3. Hedvall, J A: *Mineralografi — en metallografi för icke-metaller*. Tekn. T. 78 (1948) s. 29.
4. Forstlind, E: *Fresh Concrete*. Building materials their elasticity and inelasticity. Amsterdam 1954.
5. Grudemo, Å: *Cementpastans mikrostruktur*. Gullkornet 9 (1959).
6. American Society of Engineering Education (ASEE): *Report on evaluation of engineering education*. Urbana, Ill. 1955.
7. Subcommittee 6 of ASEE follow-up committee: *On the nature and properties of materials*. 1959.
8. Murphy, G: *Symposium on education in materials*. ASTM Special Technical Publication No. 263.
9. *Materials Science*. Stanford University Bull. Ser. 17 No. 3 (1964) s. 149.
10. Van Vlack, L H: *Elements of materials science*. Reading Mass. 1960.
11. Richards, C W: *Engineering materials science*. San Francisco 1961.
12. Bernal, J D: *After twentyfive years*. The science of science. London 1964.