



Betong:

## HERDETEKNOLOGI

Herdeteknologi handler om å ivareta betongens iboende egenskaper ved utstøping, slik at fremdriften sikres og skader unngås. Dette er alltid viktig, ikke minst ved vinterstøping og ved støping av massive konstruksjoner der utfordringen er å hindre herdevarmen i å skape problemer.

I denne artikkelen beskrives de parametre som påvirker betongens herding og de styringsverktøy som finnes for materialvalg, isolering og beskyttelse. Artikkelen er basert på brosjyren 'Herdeteknologi', utgitt av Norcem FoU.

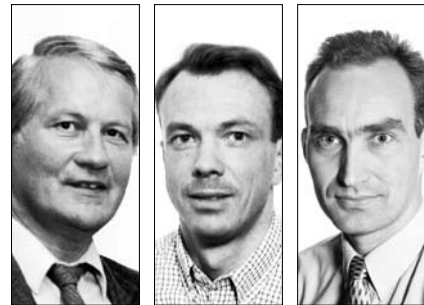
Betongens styrke og bestandighet bygges opp over tid. Fukttilgang og temperatur de første døgnene etter utstøping er avgjørende for langtidsegenskapene.

Når sement blandes med vann skjer det en reaksjon som er ledsaget av varmeutvikling. Denne herdevarmen kan utnyttes positivt, for eksempel ved vinterstøping. Men den kan også føre til problemer, bl.a. i massive konstruksjoner hvor varmen ikke kan ledes bort på en kontrollert måte. Store temperaturforskjeller kan føre til at betongen sprekker opp. Det samme kan skje ved for hurtig fjerning av isolasjon/forskaling ved intens varmeherding ved vinterstøp.

Ut fra betongens sammensetning kan vi forutse egenskapene mht. størkning, fasthets- og varmeutvikling. Betingelsene på byggeplass; konstruksjonstype, dimensjoner, forskalingstype og vindforhold – alt kan settes sammen i et dataprogram for å besvare en rekke spørsmål:

- Når skal forskalingen rives?
- Hva må gjøres for å kunne rive etter fremdriftsplanen?
- Bør vi bruke mer sement? Eller en annen sementtype?
- Hvordan benytte tilsetningsstoffer?
- Bør betongtemperaturen være høyere?
- Bør vi bruke en annen type forskaling?
- Er det fare for at betongen fryser?
- Bør betongen tildekkes? Og i så fall; hvor lenge?
- Vil det ved formriving være fare for riss?

Tekst:  
Birger Søpler og  
Knut Kjellsen,  
Norcem FoU,  
Tom Fredvik,  
NorBetong



Illustr.: Norcem, Houg/HeidelbergCement og Rescon Mapei

Iboende egenskaper – materialsammensetning  
Forutsatt riktig utstøping og komprimering vil betongens styrke, tetthet og bestandighet i hovedsak styres av sementlimet. Limets egenskaper er igjen bestemt av bindemiddeltype, -mengde og masseforhold (vann/bindemiddel).

### Bindemiddelet

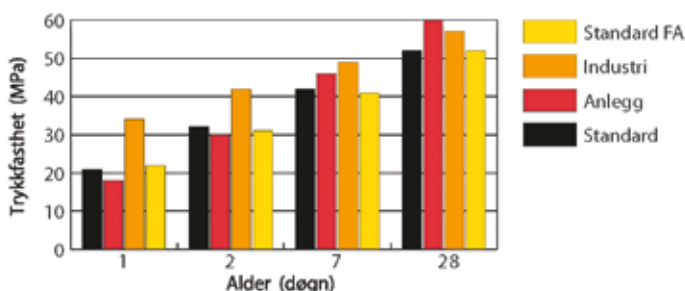
Ulike sementtyper har forskjellig avbindingshastighet, varme- og fasthetsutvikling.

Bruk av andre sementer enn portlandsement eller en kombinasjon av sement og pozzolane bindemidler er blitt vanlig. Særlig silikastøv blir brukt på denne måten.

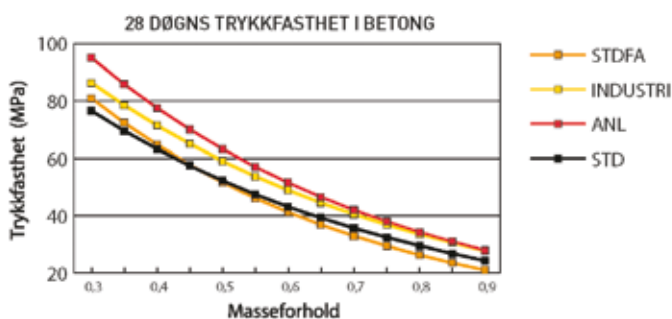
Fasthetsnivået, særlig i tidlig alder, er svært forskjellige for de ulike sementene (figur 1). Dette har stor betydning mht. formriving, glatting av dekker m.v.

Fasthetstilveksten er også avhengig av sementtypen. Erstattes Standardsement med Industrisement, øker tidligfastheten vesentlig. Anleggssement har lavere tidligfasthet enn Standardsement, men har høyere fasthet ved 28 døgn. Anleggssement gir altså en høyere langtidfasthet pr. kilo. Fasthetstilveksten er stor de første dagene etter utstøping.

Ved å øke eller minske sementinnholdet i betongen, kan man til en viss grad kompensere for ulikheter i sementenes varme- og fasthetsegenskaper. Påse at justeringen ikke fører til for lave/høye sementmengder i betongen.



Figur 1: Fasthetsutvikling for ulike sementer

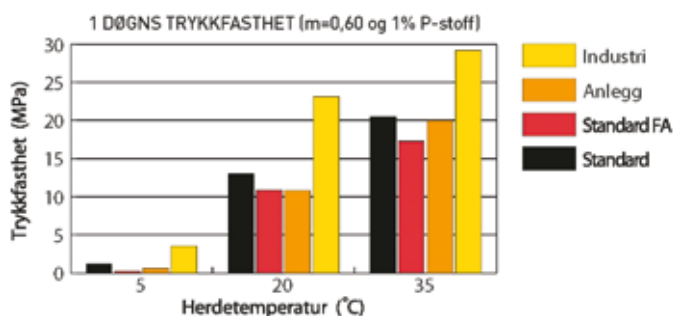


Figur 2: Fasthetsnivået er bestemt av masseforholdet

#### Sementmengde – masseforhold – v/c-tall (m)

For normale betongsammensetninger og vanlig norsk tilslag bestemmes betongens sluttfasthet av masseforholdet. Sementmengden bestemmes dermed av vannbehovet ved en gitt konsistens og nødvendig masseforhold iht. kravet til fasthet eller bestandighet.

Det er vanlig å tilsette vannreducerende stoffer for å forbedre støpeligheten og å redusere sementforbruket. Vinterstid bør man være forsiktig med å redusere sementmengden. Man bør heller utnytte sementens varmeutvikling for å opprettholde en høyere temperatur i betongen over et lengre tidsrom. Dette gir en aksellerering av betongens fasthetsutvikling. Vinterstid vil man ofte være tjent med økt sementmengde i slanke konstruksjoner.



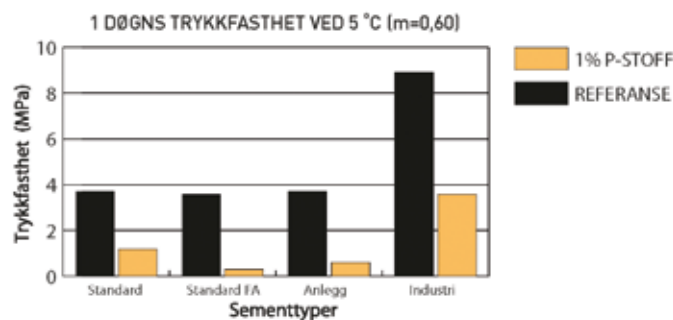
Figur 3: Fasthetsutvikling i tidlig alder er sterkt temperaturavhengig

#### Tilsetningsstoffer

Nesten all betong produseres med en eller annen form for tilsetningsstoff.

Vannreducerende tilsetninger er de mest vanlige:

- Lignosulfatene (P-stoffer) er de billigste. Disse har den bieffekten at de ved høye doseringer virker sterkt retarderende på betongens størkning, varme- og fattsutvikling i tidlig alder. Den retarderende effekten øker kraftig når betongtemperaturen blir lav. Vinterstid bør man derfor være meget forsiktig med høye doseringer. For spesielle støpeoppgaver kan det være aktuelt å benytte akselererende tilsetningsstoffer (se eget avsnitt).



Figur 4: Plastiserende tilsetningsstoffer (P-stoffer) virker ofte retarderende, særlig ved lave temperaturer

- Superplastiserende (SP-stoffer) er basert på polymerer av melaminharts og naftalin. Tredjegerasjons superplastiserende tilsetningsstoff (modifiserte polykarboksylater) har vesentlig mindre retarderende effekt.

SP-stoffene er vesentlig dyrere enn P-stoffene. Derfor benyttes de ofte i kombinasjon når høy grad av vannreduksjon ønskes, uten uakseptabel retardasjon.

#### Akselererende tilsetninger

- Størkningsakselerator benyttes i nesten all fiberarmert sprøytebetong for å begrense prelltap/nedfall og sikre rask fasthetsoppbygging. Størkningsakseleratorer brukes også i støpebetong (f.eks. i gulvbelegg, for å oppnå raskere glatting).
- Herdingsakselerator er lite brukt. Disse stoffene virker lite inn på betongens størkningsegenskaper, men setter fart i fasthets- og varmeutviklingen. Det kreves ofte forholdsvis høye betongtemperaturer for å oppnå maksimal effekt av herdingsakseleratorene. Kombinasjonen herdingsakselerator/varm betong er derfor være effektiv ved spesielle støpearbeider vinterstid. Herdingsakseleratorer godkjent for bruk i armert betong inneholder ikke klorider.

## Hvordan styres herdeforløpet?

Herdeprosessen hastighet er i stor grad bestemt av betongtemperaturen. Økes betongtemperaturen, forløper prosessen hurtigere og omvendt.

### Reaksjonshastigheten

Ved 35 °C skjer herdingen dobbelt så fort som ved 20 °C. Ved 10 °C er hastigheten det halve av hastigheten ved 20 °C. Figur 5 viser hastighetsfunksjonen ved ulike temperaturer. Reaksjonshastigheten  $H(T)$  ved 20°C i betongen er 1,0.

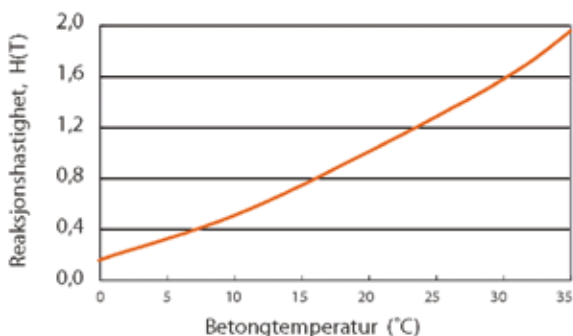
### Under herding utvikles varme

I en betong som herder uten varmetap til omgivelsene vil temperaturen øke. Denne egenoppvarmingen kan føre til en økning på inntil 60°C utover utstøpingstemperaturen. Betongens faktiske temperaturforløp bestemmes av balansen mellom varmeutviklingen i betongen og varmetapet til omgivelsene.

I meget grove konstruksjonsdeler eller i konstruksjoner som er godt isolert, vil temperaturen bli høy siden det er vanskelig å avgi herdevarme til omgivelsene. I tynnveggede, uisolerte konstruksjoner er forholdet det motsatte. Et meget viktig element i styringen av betongens herdeforløp vil derfor være å kontrollere betongens herdevarme. Hvor stor andel av herdevarmen vil man å ta vare på i form av temperaturstigning i betongen, og hvor stor andel skal ledes bort til omgivelsene? I praksis finnes det mange muligheter for å styre denne balansen.

### Vanntap må forhindres

Fra ubeskyttede betongoverflater vil det foregå en fordamping av vann. Fordampingshastigheten avhenger av betongtemperatur, lufttemperatur, luftfuktighet, vindforhold og konstruksjonens utforming. Forutsetningen for god herding er at vanntap fra betongoverflaten forhindres.



Figur 5: Relativ reaksjonshastighet  $H(T)$  ved ulike betongtemperaturer

## Varmetap fra konstruksjonen

Der det finnes temperaturforskjeller i et system, vil det alltid foregå en varmetransport. Denne varmetransporten skjer gjennom tre ulike mekanismer:

- Varmeledning
- Konveksjon
- Stråling

### Varmeledning

Varmeledningsmotstanden er en konstant størrelse for en gitt konstruksjon. Denne størrelsen er avhengig av hvilke materialer konstruksjonen består av og tykkelsen på de enkelte materiallagene.

$$\text{Varmeledningsmotstanden } m = d/k$$

$$d = \text{lagtykkelsen}$$

$$k = \text{varmeledningsevnen for materialet}$$

Varmeledningstallet er avhengig av materialets porøsitet og fuktinnhold. Tabell 1 angir en del materials varmeledningsevne. Total varmeledningsmotstand er summen av motstanden for de enkelte materialag. Tabell 2 angir varmeledningsmotstanden for ulike forskalingsmaterialer.

Konstruksjonsmaterialer	kJ/mh°C
Stål	209,0
Fersk betong	8,4
Herdet betong	5,9
Lettbetong	2,9
Treverk (fuktig)	0,67
Vanlige isolasjonsmaterialer	0,15

Tabell 1. Varmeledningsevne  $k_i$

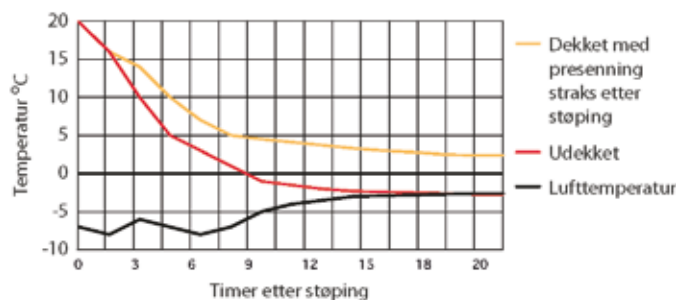
Forskalingsmaterialer	m <sup>2</sup> h°C/kJ
Stålforsikaling	0,00005
Finér 15 mm	0,022
Finér 22 mm	0,033
Etafoam 10 mm	0,067
Vintermatte 50 mm	0,330
Stål + etafoam 10 mm	0,067
Finér 15 mm + skumplast 10 mm	0,089

Tabell 2. Varmeledningsmotstand  $m_i$

### Konveksjon

Varmetap som følge av konveksjon oppstår ved at varm luft på forskalingsens utside transporteres bort og erstattes av kaldere luft. Hvor raskt dette skjer er avhengig av lokale vindforhold. Størrelsen på den konvektive varmestrømmen

- øker med stigende differanse mellom overflatetemperaturen og lufttemperatur
- øker med økende overflateareal og
- avtar med økende motstand mot konveksjon.



Figur 6: Eksempel på temperaturfall i en 100 mm plate, udekket og dekket umiddelbart etter støping

Materiale	Absorpsjonstall a
Betong	0,93
Vann	0,92
Treverk	0,85
Kobber, blankt	0,04
Kobber, oksydert	0,73

Tabell 4: Absorpsjonstall ved stråling

Varmekonveksjonsmotstanden ( $m_k$ ) avhenger av hvor raskt varmeovergangen kan skje i selve overflatesjiktet.

$$m_k = \frac{1}{a_k}$$

hvor konvektivt varmeovergangstall  $a_k$  ( $\text{kJ}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ )

Det konvektive varmeovergangstallet  $a_k$  avhenger av hvilke medier overgangen skjer mellom. F.eks. er overgangstallet mellom fast stoff og luft vesentlig lavere enn fra fast stoff til vann. I tillegg er det vesentlig influert av hvor raskt luften eller vannet skiftes ut ved overflaten. Tabell 3 angir konveksjonsmotstand for en del praktiske eksempler:

Varmekonveksjonsmotstand $m_k$		$\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kJ}$
Faststoff til luft	vindhastighet	0 m/sek: 0,050
		2 m/sek: 0,021
		5 m/sek: 0,011
		10 m/sek: 0,006
		20 m/sek: 0,0004
Faststoff til vann	stille vann: 0,0005	
	strømmende vann: 0,00005	

Tabell 3

Tabellen viser at vindhastigheten har meget stor innflytelse på størrelsen på den konvektive overgangsmotstanden – noe alle som har gått på ski i fjellet har erfart.

### Stråling

Varmestråling er energioverføring fra et varmt legeme gjennom f.eks. luft til et kaldere legeme. Strålingsenergien som treffer en flate reflekteres, absorberes eller slippes gjennom (transmitteres). Et høyt absorpsjonstall betyr at et materiale har stor evne til å oppta – og avgis – strålingsvarme. Tabell 4 angir absorpsjonstallet for en del vanlige materialer.

Beregningsmessig er det vanskelig å ta hensyn til varmetap/varmetilførsel fra naturlig stråling, som i stor grad er avhengig av værforhold. For vertikale flater kan man som regel se bort fra strålingen. Men for utildekkede horisontale flater kan den ha stor betydning. Ved dekket støp vinterstid kan overflatesjiktet fryse i løpet av natten selv om det ikke har vært kuldegrader. Dette unngås ved å dekke til med plast om natten, ref. figur 6. Ofte vil det da dannes rim på undersiden av plasten uten at det oppstår skade på selve betongen.

### Varmetap ved fordamping

Ved dekket støp uten tildekking vil fordamping fra overflaten gi stort varmetap. Hvor mye vann som forsvinner avhenger av temperatur og fuktforhold i lufta, vindhastighet og betongens overflatetemperatur. Uttørkingen kan drastisk reduseres ved å påføre en membranherdner.

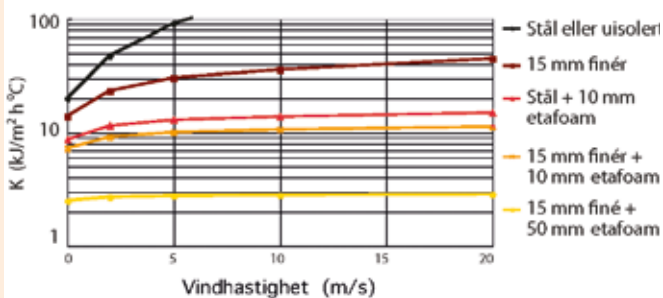
### Effekt av konstruksjonsforhold

Forholdet mellom varmekapasiteten til konstruksjonens volum og varmeavgivelsen fra total overflate bestemmer konstruksjonens avkjølingsforhold. En bjelke har større forholdsmessig overflate enn en vegg og dermed større avkjøling. Tykkelsens effekt på avkjølingsforholdene er større jo dårligere overflateisoleringen er.

Matematisk beskrives dette ved hjelp av avkjølingstallet:

$$a_k = \frac{\sum (k \cdot A) \text{ (h}^{-1}\text{)}}{V \cdot R \cdot c}$$

- a = avkjølingstall
- K = transmisjonstall i overflaten
- A = overflateareal
- V = volum
- R = romvekt
- c = varmekapasitet



Figur 7: Transmisjonstallet K for endel forskalingsløsninger

Et høyt avkjølingstall betyr stort varmetap til omgivelsene. Transmisjonstallet K for en forskalingsløsning er satt sammen av følgende:

$$K = \frac{1}{m} = \frac{1}{m_i + m_i + m_k}$$

$m_i$  = motstandstall for forskaling

$m_i$  = motstandstall for isolasjon

$m_k$  = konvektivt motstandstall

når man ser bort fra varmetap fra stråling og fordamping.

Figur 7 angir transmisjonstallet K for ulike forskalinger. Vi ser at for et uisolert dekke og for stålforskaling har vindhastigheten stor betydning for avkjølingen. Når vindhastigheten øker fra 2 til 5 m/s øker transmisjonstallet for uisolert/stålforskaling fra ca. 50 til ca. 90 kJ/ m<sup>2</sup>h°C, dvs at avkjølingen blir nesten fordoblet. Har forskalingen bedre isolasjonsevne, reduseres effekten av vind betydelig. For en 15 mm finérplate vil transmisjonstallet øke fra 23 til 30 kJ/ m<sup>2</sup>h°C når vindhastigheten øker fra 2 til 5 m/s, dvs. en økning på ca 25%.

### Effektiv drift – unngå skader

En forutsetning for effektiv drift er at vi kjenner temperatur- og fasthetssutviklingen i betongen. Fasthetssutviklingen er avgjørende bl.a. for å avgjøre når betongen er frostsikker ved vinterstøping.

Iflg. NS 3465 skal betong ikke fryse før den har oppnådd en fasthet på 5 MPa. Fasthetssutviklingen er også avgjørende for om vi kan foreta oppspenning av spennarmerte konstruksjoner. Høy herdetemperatur gir en mer porøs betong, dvs. dårligere bestandighet og lavere sluttfasthet. NS 3465 krever at herdetemperaturen ikke skal overstige 65°C. Ved høyere temperaturer er det fare for såkalt 'forsinket ettringitdannelse'.

Påse at det ikke oppstår for store temperaturforskjeller mellom betongens indre og betongens overflate eller mellom overflaten og lufta når forskalingen rives. I begge tilfeller kan det oppstå sprekker i betongen.

### Krav til utførelse

Det stilles en rekke krav til utførelse av betongarbeider:

- krav nedfelt i NS 3465
- byggherrekrav (Vegdirektoratets prosesskode)
- entreprenørkrav til utførelse for å sikre fremdrift og minimalisere kostnader

### Vinterstøping

Under frost og vinterforhold må alle hjelpemidler nødvendige for å sikre betongens en tilfredsstillende temperatur under blanding, støping og herding være klare til bruk før støpingen begynner.

NS 3465 stiller følgende krav til vinterstøping:

- Grunn, forskaling eller konstruksjonsdeler som er i kontakt med fersk betong, skal ikke ha en temperatur som fører til at betongen fryser før den har en tilstrekkelig fasthet til å motstå skade
- Hvis omgivelsestemperaturen forventes å være under 0°C på støpetidspunktet eller i herdeperioden, skal det treffes tiltak som beskytter betongen mot skade som følge av frysing
- Det skal sikres at betongens temperatur ikke på noe sted skal synke under 0 °C før betongen har oppnådd fasthet på minst 5 MPa
- Iht. NS-EN 206 skal temperaturen i fersk betong ikke være lavere enn 5 °C ved levering på byggeplass.

Ved utstøping skal grunnen, forskaling og armering være fri for snø og is. Dette fordi snø og is vil smelte og øke vanninnholdet lokalt, noe som kan medføre vesentlige svekkelser av den herdede betongen. Særlig kan redusert heft til armeringen resultere i alvorlige skader.

Fjerning av snø og is kan gjøres på flere måter. Til store flater med mye snø og is er ofte steaming den beste metoden. Varmluft i kombinasjon med tildekking kan være et alternativ; særlig ved støping på grunn der oppvarming av underlaget er nødvendig.

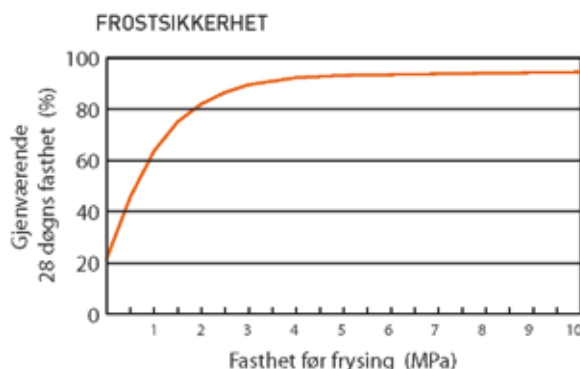
Tining av mindre, konsentrerte snø- og ismengder, f.eks. på utstikkende skjotejern, kan gjøres med gassflamme.

Fjerning av snø og is fra forskaling og armering kan være både tidkrevende og vanskelig. Ofte er det bedre å unngå dette arbeidet vha. tildekking etter hvert som forskalings- og armeringsarbeid skrider frem.

Telefarlig underlag må tines. Utilstrekkelig oppvarming kan medføre både hulrom og setninger.

Herdet betong får varige skader dersom den fryser før den har oppnådd en viss modenhet. Vann som fryser til is utvider seg ca 9 %. Dersom vannet i en fersk betong fryser, vil betongen utvide seg ca 2 %. Når vannet i fersk betong omdannes til is, reagerer det ikke med sementkornene. Hydratiseringen kommer ikke i gang før betongen tines. En slik betong blir porøs og har betydelig nedsatt fasthet og bestandighet. Ved dekkstøping kan tidlig frysing føre til oppsmuldring av overflaten.

Dersom en har grunn til å tro at en betong har frosset i tidlig alder, må forskalingen ikke rives før fastheten er kontrollert ved prøving. Om betong som er delvis herdet utsettes for frost, vil det frie vannet i porene gå over til is. Volumutvidelsen ved isdannelsen fører til spenning i betongmassen. Har betongen ikke oppnådd høy nok fasthet, vil denne spenningen føre til rissdannelser. Langvarig frostpåkjenning gir større skader enn kortvarig, og gjentatte fryse-/tinepåkjenninger øker skadene.



Figur 8: De tildels store fasthetstap som oppstår når betongen fryser før den er avbundet (dvs. fasthet  $\leq 1-2$  MPa) skyldes dannelse av islinser eller isnåler i betongen. Når disse tiner, dannes et hulrom mellom tilslag og bindemiddel.

Betongen kalles frostsikker når den har fått en så høy fasthet at den kan tåle en frysing uten å ta varig skade. Iht. NS 3465 gjøres dette ved å sikre at betongtemperaturen ikke på noe sted faller under 0 °C før betongen har nådd en fasthet av 5 MPa. Figur 8 viser sammenhengen mellom fasthetsutvikling og frysing.

Betongen skal i minst mulig grad utsettes for kraftig uttørring, overoppheting eller karbondioksydrike gasser i løpet av det første døgnet. I dette tidsrommet skal man være varsom med bruk av bensin- eller dieseldrevne varmluftsaggregater til oppvarming av betong med fri overflate.

### Temperatur – temperaturforskjeller

Ved støping oppstår det temperaturforskjeller i konstruksjonen. Dette kan enten være forskjeller over tverrsnittet innen støpeavsnitt, eller forskjeller mellom ny og gammel betong. Når betongoverflaten avkjøles raskere enn kjernen oppstår det strekkspenninger i overflaten. Dersom temperaturkontraksjonen kun holdes tilbake i kjernen i betongtverrsnittet, vil overflaten risse opp dersom differansen mellom maks. temp og randtemp overstiger en viss grense. Ved rask avkjøling (f.eks. ved riving av forskaling) er grensen satt til 20 °C. Ved tynne veggkonstruksjoner er det teknisk mulig å oppfylle dette kravet, men ved grove konstruksjoner utsatt for kraftig avkjøling i overflaten, f.eks. ved undervannsstøp, er dette nærmest umulig å oppfylle.

Bildet blir mer komplisert når temperaturkontraksjonen i tillegg holdes tilbake av andre konstruksjonsdeler (vegg støpt mot stivt fundament, fundament mot kaldt, fortannet fjell eller dekke støpt mot stiv vegg). Dette gir et tillegg i strekkspenningene, avhengig av innspenningsgraden og hvor fort avkjølingen skjer. Ved full innspenning og rask avkjøling (ingen spenningsavlastning pga. kryp i betongen), kan riss oppstå allerede når differansen mellom den nystøpte konstruksjonsdelens middeltemp og underlagets temp overstiger 13 °C. Om vinteren er det vanligvis umulig å overholde et slikt krav. Selv et krav på 30–40 °C vil være vanskelig å oppfylle. Ved støping av grove konstruksjoner om sommeren, hvor maks. temperatur i betongen kan nå 60–65 °C, kan det også være vanskelig å oppfylle dette.

**Eksempel: Entreprenørkrav til fremdrift (riving)**

Vegg/søyler: Dagen etter utstøping (16 timer)

Dekker: Helst dagen etter utstøping, maks. 2–3 døgn.

Når forskaling rives må betongen ha oppnådd følgende fasthet:		
Vegger	Riping	2–3 MPa
	Sig	3–5 MPa
	Uttrekk	3–5 MPa
	Frost	5 MPa
Dekker	Nedbøyn./opprissing	spennvidde 4 m: 15 MPa
		spennvidde 2 m: 8 MPa
	Frost	5 MPa

**Etterbehandling**

God etterbehandling skal sikre at betongen:

- får tilstrekkelig fuktighet slik at sementen kan hydratisere
- ikke svekkes eller sprekker opp i overflaten pga. tidlig uttørking (plastiske svinnriss)
- oppnår en gunstig fasthetsutvikling både mht. fremdrift/avforming og langtidfasthet/bestandighet
- ikke blir utsatt for frysing før den har fått tilstrekkelig styrke
- ikke får skader pga. temperaturspenninger

**Tiltak for å sikre fuktherding**

Standarden setter krav til herdetiltak som skal sikre lav fordamping fra betongoverflaten. Varigheten av herdetiltakene skal være tilpasset utviklingen av betongens egenskaper iht NS 3465, som angir minste periode med herdetiltak:

Betong- overflate- temp (t) °C	Minste periode med herdetiltak i døgn <sup>a) b)</sup>		
	Utvikling av betongfasthet <sup>d)</sup> $(f_{cm2} / f_{cm28}) = r$		
	Rask $r \geq 0,50$	Middels rask $r = 0,30$	Langsom $r = 0,15$
$t \geq 25$	1,5	2,5	5
$25 > t \geq 15$	2,5	5	7,0
$15 > t \geq 10$	3,5	7	10
$10 > t \geq 5$ <sup>c)</sup>	6	10	17

<sup>a)</sup> Pluss avbindingsperioder som overskrider fem timer  
<sup>b)</sup> Lineær interpolasjon mellom verdier i tabellen er tillatt  
<sup>c)</sup> Har betongtemperaturen vært lavere enn 5°C i deler av perioden, bør varigheten av herdetiltakene utvides tilsvarende  
<sup>d)</sup> Utviklingen av betongfastheten er forholdet mellom midlere trykkfasthet etter to døgn og midlere trykkfasthet etter 28 døgn, bestemt fra initiell prøving og basert på deklarasjon fra betongprodusenten (se NS-EN 206-1)

Tabell 5. Minste periode med herdetiltak iht. NS 3465, pkt. 9.5

Straks etter avforming må man påse at betongen får tilstrekkelig fuktherding, ellers kan fasthets- og tetthetsutviklingen stoppe opp. Manglende fuktherding har trolig

enda større effekt på permeabilitet enn på trykkfasthet, og permeabiliteten er avgjørende for betongens bestandighet.

Trenden innenfor betongbygging er stadig tidligere formriving. Selv vinterstid med lave utetemperaturer avformes betongen ofte allerede 16–20 timer etter utstøping. Ofte benyttes varmbetong eller sterke varmekilder for å akselerere herdingen, slik at man avformer betong med meget høye temperaturer. Uten skikkelig etterbehandling vil dette svekke bestandigheten. Overflateskiktet danner overdekning for armeringen. Uttørking i tidlig alder gir en åpnere porestruktur, slik at væsker og gasser lettere trenger inn i betongen. Karbonatiseringen går dermed raskere, og betongens alkaliske beskyttelse av armeringen fjernes raskere. Sammen med økt vannsugingsevne og økt oksygen-diffusjon fører dette til at faren for armeringskorrosjon øker.

Mer åpen porestruktur og økt sugsevne svekker betongoverflatens frostbestandighet i betydelig grad.

Det er flere måter å hindre uttørking. Tidligere var vanning av overflaten standard prosedyre. I dag dekker vi ofte med plastfolie eller påfører membraner.

Kravene til herdetiltak avhenger også av brukskravene. Konstruksjoner der vi stiller spesielle krav til tetthet, f.eks. vannbeholdere, fordrer en mer omfattende fuktherding.

**Temperaturforskjeller**

Påse at det ikke oppstår for store temperaturforskjeller mellom betongens indre og betongens overflate eller mellom overflaten og lufta når forskalingen rives. I begge tilfeller kan det oppstå sprekker i betongen.

Tidlig riving av en isolert form i kjølig vær eller vanning av en varm overflate kan gi slike sprekke-dannelser og må derfor frarådes. Dersom temperaturforskjellen mellom lufta og betongoverflaten overstiger ca 40°C når støpeformen rives, kan betongen sprekke opp.

**Vegger og søyler**

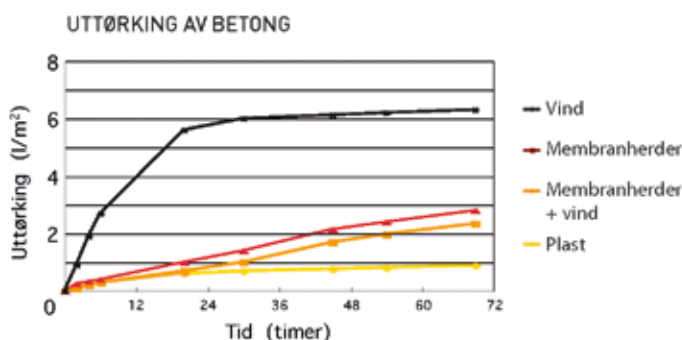
Forskalingen er ofte tilstrekkelig til å holde på fuktigheten i vegger og søyler. Derfor behøver vi som regel ikke å vanne så lenge forskalingen står. Men hvis veggene er utsatt for sterk varme, sol og vind, vil en treforskaling tørke og trekke fuktighet ut av betongen. I tørt, varmt vær bør vi derfor vanne slike forskalinger den første uken.

**Dekker**

Dagens praksis ved støping av dekker medfører ofte at betongoverflaten tørker ut rett etter utstøping, noe som fører til at den ferske massen trekker seg sammen. Dersom massen ikke kan motstå tøyningene, oppstår det såkalte plastiske svinnriss, som har et karakteristisk utseende. De er ca. 50–100 mm lange og 1–3 mm brede. De går ofte tvers gjennom dekkestøpen og reduserer betongens tetthet og bestandighet. Betong med høyt fillerinnhold, særlig i kombinasjon med silikastøv, er mest utsatt for denne typen riss. I den første tiden etter at det ble vanlig å bruke silikastøv oppsto en rekke slike skader. Tildekking med plast eller påføring av membran etter utstøping har vist seg å være meget effektivt for å forhindre slike riss.



Tidligere var vanning av overflaten standard prosedyre. I dag dekker vi ofte med plastfolie eller påfører membranherder



Figur 9: Uttørring av betong med og uten etterbehandling. Kvalitet B20, 40% RF

Etter avsluttet størkning øker fastheten raskt. I de første dagene er betongen følsom for uttørringssvinn. Som nevnt angir NS 3465 varigheten av herdetiltakene; vanning eller bruk av fordampingshindrende midler. Av praktiske årsaker bruker vi ofte en membranherder. Den påføres umiddelbart etter avretting. De fleste membranherdere er effektive i ca ett døgn, deretter må vi dekke til med plastfolie eller vanne. Se figur 9.

Noen typer membranherdere gir en hinne som forsvinner etter hvert, og som ikke skaper problemer for senere overflatebehandling, f.eks. maling eller påstøp. Er du usikker på hvordan produktet virker, må produsenten kontaktes.

Å vanne for tidlig er like galt som å vanne for lite. Vanningen skal ikke begynne før betongen er ferdig med å størkne, vanligvis 8–10 timer etter utstøping, avhengig av sementtype og temperatur.

Betong med silikainnblanding stiller større krav til fuktig herding den første tiden. Hvis slik betong tørker ut for tidlig, er faren for svinnriss stor.

### Modellering av temperatur- og fasthetsutvikling

Tid og temperatur er to av de viktigste faktorene som påvirker betongens fasthetsutvikling. Den kombinerte effekten tid- og temperaturhistorien har på fastheten kalles modenhet. Modenhetskonseptet kan beskrives slik: *En betong vil ved samme modenhet ha oppnådd samme fasthet uavhengig av hvilken tid/temperaturhistorie som resulterer i modenhetsverdien.* For et aktuelt støpearbeid kan man naturligvis følge prosessen ved å måle temperatur- og fasthetsutviklingen i selve konstruksjonen ved de ønskede tidspunkt. Dette er ofte vanskelig og kostnadskrevenende. I stedet brukes en matematisk modellering. For å kunne beregne herdeforløpet i en betongkonstruksjon trengs:

- Betongens fasthetsutvikling ved konstant temperatur, dvs. betongens isoterme fasthetsutvikling
- Betongens varmeutvikling som følge av sementens reaksjon med vann; betongens adiabatisk varmeutvikling
- Temperaturen innvirkning på hhv. varme- og fasthetsutvikling må beskrives med en 'reaksjonshastighets- eller modenhetsfunksjon'
- Varmebalansen internt i konstruksjonen og eksternt mot omgivelsene
- En matematisk sammenkobling av elementene over til et samlet beregningsverktøy. Det finnes forskjellige simuleringprogrammer. Norcem tilbyr programmet HETT 97.

### Referanser

Mer om herdeteknologi og herdesimuleringer på [www.norcem.no](http://www.norcem.no)