

Eksamen **Løsningsforslag**

Emnekode: IRB 35619	Emnenavn: Betongteknologi
Dato: 02.12.2019 Sensurfrist: 23.12.2019	Eksamenstid: 09.00 – 13.00
Antall oppgavesider: 5 Antall vedleggsider: 4	Faglærer: Inge R. Eeg, Oppgaven er kontrollert: Ja
Hjelpemidler: Utdelt kalkulator. Ellers ingen hjelpemidler.	
Om eksamensoppgaven: I enkelte oppgaver kan det mangle noe informasjon. Studenten kan da gjøre sine egne forutsetninger Kandidaten må selv kontrollere at oppgavesettet er fullstendig	



Oppgave 1 (20%)

- a) I vedlegg 1 og 2 finner du en prislister på betong, transport mm. Til en gulvstøp er det gitt følgende opplysninger:
- Betongkvalitet B35 MF45 D16 CI0.1 SKB K1
 - 25% steinreduksjon
 - Lavkarbon klasse A
 - Anleggssement FA
 - Areal 18 x 42 m²
 - Tykkelse: 0,25 m
 - Transportavstand : 16 km (automixere) med lastekapasitet 6m³ pr. bil
 - Betongtemperatur > 20°C
 - Det er torsdag 5. februar. Det er 2 mann som arbeider på fabrikken. 1 sjåfør pr. bil

Støpen begynner kl. 12.00. Tømmetid på byggeplass beregnes til 20 min. per bil.

Foreta en kalkulasjon for hele leveransen ex MVA.

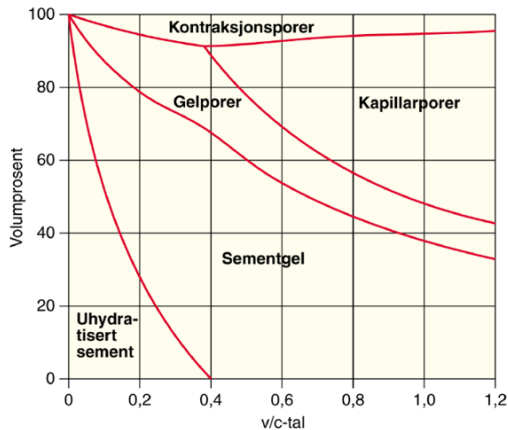
- Volum: $(18 \times 42 \times 0,25) \text{ m}^3 = 189 \text{ m}^3 \rightarrow \mathbf{192 \text{ m}^3}$ (32 lass)
- Betongpris: $(1520,- + 55,- (\text{MF}) + 50,- (\text{kl.A}) + 45,- (\text{Red.}) + 60,- (\text{Anl.}) + 125,- (\text{SKB}) + 55,- (\text{temp.}) = 1910,- \text{ kr/m}^3 \times 192 \text{ m}^3 = \mathbf{\text{kr. } 366.720,-}$ (1)
- Transport: $192 \text{ m}^3 \times 200 \text{ kr/m}^3 = \mathbf{\text{kr. } 38.400,-}$ (2)
- Miljøavgift: $5,- \text{ kr/m}^3 \times 192 \text{ m}^3 = \mathbf{\text{kr. } 960,-}$ (3)
- Overtid fabrikk: støp starter kl.12.00, avsluttes ca. kl. 23.00 (ca. 11 timer), 18m³/t. kl. 15.30 – 21.00: $525,- \text{ kr/time} = 5,5 \text{ t} \times 525,- \text{ kr/time} = \mathbf{\text{kr. } 2887,50}$. kl. 21.00 – 23.00: $2 \text{ t} \times 1050,- \text{ kr/t} = \mathbf{\text{kr. } 2100,-}$. Sum overtid fabrikk: **kr. 4987,50** (4)
- Overtid transport: kl. 15.30 – 21.00: $5,5 \text{ t} \times 475,- \text{ pr. lass (i.e 3 lass/t)} = 5,5 \times 3 \times 475,- = \mathbf{\text{kr. } 7837,50}$. kl. 21.00 – 23.00 : $2 \times 3 \times 950,- = \mathbf{\text{kr. } 5.700,-}$ Sum overtid transport : **kr. 13.537,50** (5)
- **SUM:** $(1) + (2) + (3) + (4) + (5) = \mathbf{\text{kr. } 424.605,- \text{ ex MVA}}$

- b) Tabell NA.9 (vedlegg 3) angir k-verdier til flygeaske der også største mengde tilsatt flygeaske er angitt. Sjekk om kravet til max. mengde flygeaske er oppfylt, og regn ut totalt vanninnhold i betongen der følgende er gitt:

- Bestandighetsklasse M60
- 335 kg/m³ Norcem Standard FA (CEM II/B-M) vedlegg 4
- 30 kg/m³ tilsatt flygeaske i betongen

- $F_a = \Sigma FA / FA+Si+C = 30 \text{ kg/3} + 56,95 \text{ kg/m}^3 (17\%) / 335 \text{ kg/m}^3 + 30\text{kg/m}^3 \rightarrow 86,95 \text{ kg/m}^3 / 365 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{0,24}$, dvs OK
- $Vannmengde = 0,60 \times ((335 \text{ kg/m}^3 + (0,4 \times 30\text{kg/m}^3)) = \mathbf{208,20 \text{ kg/m}^3}$
- **Kontroll:** $208,20 \text{ kg/m}^3 / 347 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{0,60}$

c)



Forklar ut i fra ovenstående figur:

- Hvorfor har vi teoretisk full hydratasjon ved masseforhold 0,4?
- For med $m=0,4$ (0,41) er alt vannet forbrukt kjemisk og fysisk (18+23%)
- Hvorfor oppnår vi i praksis aldri full hydratasjon?
- I virkeligheten oppnår vi aldri full hydratasjon, og graden avtar med synkende masseforhold. Dette fordi strukturen etter hvert blir så tett at vannet ikke trenger inn. Uhydratiserte sementkorn vil imidlertid ha styrkemessig karakter som naturlig tilslag, og limes sammen til et kontinuerlig materiale som tilfører tetthet og fasthet.
- Hvorfor bidrar også uhydratisert sement til fasthet?
- Se svar over
- Hvordan påvirker kapilærporene betongens fasthet?
- **Betongens fasthet avtar med økende mengde kappilærporer**
- Benytt Powers` s modell til å regne ut total porøsitet i sementlimet når følgende er gitt:
 - ➔ Masseforhold $< 0,45$
 - ➔ Hydratasjonsgrad: 65 %
 - ➔ Sementinnhold: 375 kg/m^3
 - ➔ Egenvekt sement: 3100 kg/m^3
 - ➔ Kontraksjonsporer: 15 l/m^3

Uhydratisert sement: $0,35 \times 375 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{131,25 \text{ kg/m}^3}$

Hydratisert sement: $0,65 \times 375 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{243,75 \text{ kg/m}^3}$

Volum hydratisert sement: $243,75 \text{ kg/m}^3 / 3100 \text{ kg/m}^3 = 0,07863 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{78,63 \text{ kg (liter)/m}^3}$

Fritt vann (kapillærporer): $375 \text{ kg/m}^3 \times 0,45 = \mathbf{168,75 \text{ kg/m}^3}$

Kjemisk bundet vann: (23% av $243,75 \text{ kg/m}^3$) = $\mathbf{56,06 \text{ kg/m}^3}$

Volum kjemisk bundet vann (74,6% av $56,06 \text{ kg/m}^3$) = $\mathbf{41,77 \text{ kg/m}^3}$

Fysisk bundet vann: (18% av $243,75 \text{ kg/m}^3$) = $43,88 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \mathbf{4,4\%}$

Kontraksjonsporer: $15 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \mathbf{1,5\%}$

Kapillærporer: $168,75 \text{ kg/m}^3 - 43,88 \text{ kg/m}^3 - 41,77 \text{ kg/m}^3 - 15 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{68,1 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 6,81\%}$

Totalt antall porer = $4,4\% + 1,5\% + 6,81\% = \mathbf{12,71\%}$

Volum sementlim: $(375 \text{ kg/m}^3 / 3100 \text{ kg/m}^3 + 0,16875 \text{ m}^3) = \mathbf{0,3 \text{ m}^3}$

Dvs. porøsiteten i sementlimet er $12,71\% / 0,3 = \mathbf{42,4\%}$

Oppgave 2 (15%)

a)

En vanlig konstruksjonsbetong har en typisk densitet på 2400 kg/m^3 . Sett opp et forslag til betongresept i klasse B35 M45 der følgende delmaterialer inngår:

- CEM II/B-M
- Sand 0-8 mm
- Stein 8-16 mm
- Vann
- Silika (SiO_2)
- SP-stoff

Alle materialer oppgis i **kg/m³**

Eksempel: Vann / sement = 0,45. Velger sement mengde $285 \text{ kg/m}^3 \rightarrow$ vannmengde = $\mathbf{128,25 \text{ kg/m}^3}$.

- Silika, velger 4%, dvs. $285 \text{ kg/m}^3 \times 0,04 = \mathbf{11,4 \text{ kg/m}^3}$
- Rest: $2400 \text{ kg/m}^3 - (285 + 128,25 + 11,4) \text{ kg/m}^3 = \mathbf{1975,35 \text{ kg/m}^3}$

- Tilslag sand 0-8 mm, 60%: = **1185** kg/m³
- Tilslag stein 8-16mm, 40%: = **790** kg/m³
- P-stoff: 2kg/m³

RESEPTFORSLAG:

- | | |
|----------------|-----------------------|
| • Sement: | 285 kg/m ³ |
| • Vann: | 128 --" |
| • Sand 0-8: | 1185 --" |
| • Stein 8-16 : | 790 --" |
| • Silika: | 11 --" |
| • SP | 2 --" |

SUM: 2401 kg/m³

b)

For å fremstille en frostsikker betong tilsettes gjerne L-stoff. Forklar virkemåten. Er det andre virkemidler som kan benyttes for å få en frostsikker betong?

- L-stoff er et TSS (såpe) som innfører luft i betongen, og etablerer et poresystem hvor vann som fryser i betongen kan evakuere i. Fint hvis studenten også beskriver Power`s modell her. Alternativ til å benytte L-stoff, som jo senker trykkfastheten; er å proporsjonere en betong med et fint poresystem / høy fasthet der bl.a. silika har en gunstig effekt. Jo tettere betongen er, desto mindre fukt trenger inn → mindre frostsikader

c)

Forklar begrepet katodisk beskyttelse, gjerne skissør. Hvilke typiske konstruksjoner er det aktuelt å utføre dette?

Katodisk beskyttelse

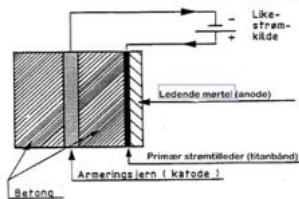
- Forlenger konstruksjonens levetid.
- Elektrokjemiske metoder for beskyttelse av armeringsjernet gjør at man kun trenger forenklet mekanisk reparasjon.
- Altså kun skadet betong fjernes, mens betong med høyt kloridinnhold blir værende.

Katodisk beskyttelse

- Armeringen beskyttes mot rust vha påtrykt spenning eller offeranode.
- Titanbånd støpes inn og skaper en elektrisk krets som beskytter mot rust.

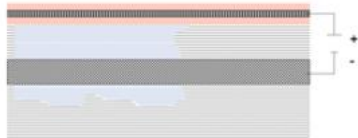


Prinsippskisse for kobling



Katodisk beskyttelse er en anerkjent metode for å beskytte stål mot korrosjon. Prinsippet går ut på at en anode skal fordele en beskyttelsesstrøm til armeringens overflate. Katodisk beskyttelse som reparasjonsmetode på armert betong blir i hovedsak benyttet på konstruksjoner som har korrosjonsskader pga klorider i betongen.

Prinsipp for katodisk beskyttelse:

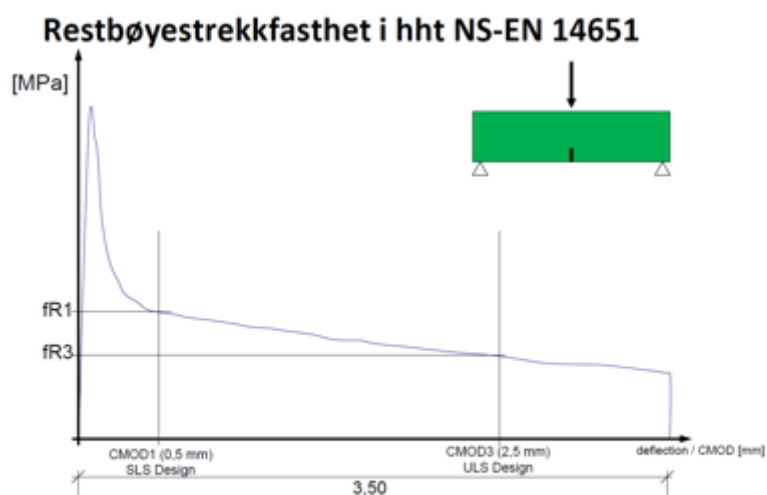


1. Skade
2. Fjerning av skadet betong
3. Ny reparasjonmørtel
4. Montere ledende nett/bånd/belegg/staver
5. Ny mørtel øvn. belegg
6. Slå på strøm

Oppgave 3 (15%)

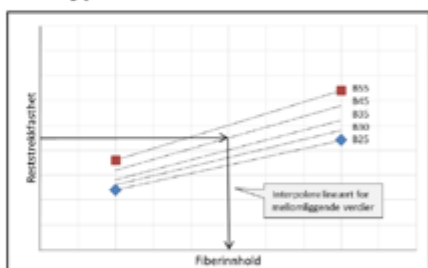
a)

NB 38 «Fiberarmert betong i bærende konstruksjoner» settes det bl.a. krav til beongens restbøyestrekfasthet. Forklar prøvningsmetoden og skissør et typisk last-deformasjonsforløp



Reststrekfasthet til fiberbetong

- For å bestemme nødvendig fibermengde må reststrekfasthet til fiberbetongen være bestemt ved prøving iht. NS-EN 14651 og NB38
- Dokumentasjonen er generell for betong med en gitt trykkfasthet og det kan interpoleres lineært for mellomliggende verdier
- Fiberleverandør vil normalt stå for dokumentasjonen av sine fibertyper



b)

Vi har ulike typer lettbetonger. Hvilke er de vanligste? Hvordan fremstilles skumbetong, og hva er de vanligste bruksområdene?

- Lettaggregatbetong (eks. Leca-betong)
- Porebetong (Siporex)
- Betong med ekspandert polystyren (polybetong), ekspandert glass mm
- Skumbetong

Skumbetong fremstilles ved å blande inn skum (eller store mengder L-stoff) i en finsats for å senke densiteten til typisk 300-500 kg/m³. Brukes bl.a. til grøftefyllinger, avrettningsmasse, ifylling av gamle dieseltanker mm

c)

Beskriv 4 krav og/eller anbefalinger for fremstilling av en vanntett betong

Krav og anbefalinger

- › DOK (Forskrift om dokumentasjon av byggevarer)
- › TEK 10 (Forskrift om tekniske krav til byggverk)
- › NS-EN 1992-1-1+NA; NA gir følgende anbefaling:
*Armeringsmengden i vegger og plater der det legges særlig vekt på tetthet bør **minst være det dobbelte** av minimumsarmeringen angitt i standarden.*
- › NS-EN 1992-3+NA; spesielle regler for siloer og beholdere i betong. Definerer bl.a. tetthetsklasser og rissviddekrav.
- › NS-EN 13670+NA; Utførelsesstandard gir **ikke** spesifikke krav eller anbefalinger til utførelsen av vanntette konstruksjoner.
- › NS-EN 206+NA; Krav til sammensetning:
 - * Vanntett betong skal ha velgraderte tilslag av egnede materialer
 - * Masseforholdet skal være lavere enn **0,50**
 - * **Minst 8** masseprosent av tilslaget bør være **< 0,25mm**. Alternativt økt sementinnhold, **pozzolaner** el. bruk av **L-stoffer**.

Krav og anbefalinger, publikasjon 5: «Prosjektering og utførelse av betongkonstruksjoner i vann»

- › *Fasthetsklasse for betong utstøpt i vann skal være minimum B30. Det skal ikke prosjekteres med høyere fasthetsklasse enn B45 med normalbetong, og B35 med AUV – betong.*
- › Betongsammensetningen skal tilfredsstillе følgende krav, som gjelder uavhengig av bestandighetsklasse:
 - *Innholdet av silikastøv skal være minimum 4 vekt-% av sementmengden.*
 - *Sementmengde + tilsetningsmaterialer (multiplisert med sin k-faktor) skal være minimum 430 kg / m³*
 - *Finstoffinnholdet (bindemiddel + tilslag < 0,25 mm) skal være minimum 530 kg / m³*
- › **NS-EN 1992-1-1+NA og NS-EN 1992-3+NA gir ikke krav til minste tverrsnittstykkelse for vanntette konstruksjoner.**
- › **Vanlig praksis er imidlertid å stille krav til minimum tykkelse på 200mm**

Tetthetsklasser og krav til rissviddebegrensning

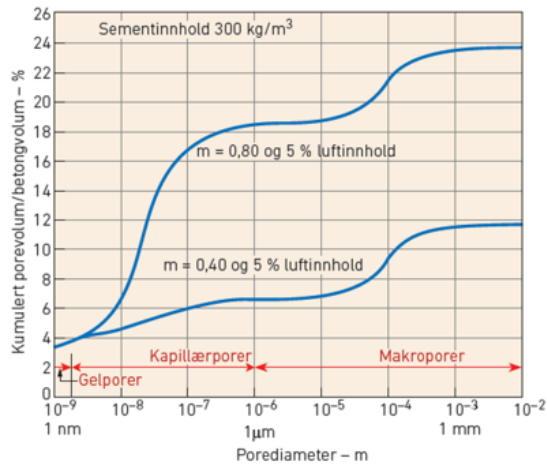
Definisjon av tetthetsklasser i henhold til NS-EN 1992-3 + NA

Tetthetsklasse	Funksjonskrav	Krav til rissviddebegrensning
0	Noe lekkasje kan aksepteres, eller vanntetthet er ikke relevant.	Forutsetter at rissviddene begrenses som angitt i NS-EN 1992-1-1 + NA, det vil si i samsvar med kravet for hver enkelt eksponeringsklasse.
1	Små lekkasjer kan aksepteres. Delvis nedfuktede overflater kan aksepteres.	Tillater gjennomgående riss, med beregnet rissvidde, w_{k1} , begrenset av forholdet mellom hydrostatisk trykk (antall meter vannsøyle), h_D , og tverrsnittstykkelsen, h , se fig. 22. Rissviddekravet er satt med en forventning om at rissene tettes ved naturlige utfellingeffekter etter kort tids eksponering for vann.
2	Minimale lekkasjer. Overflater skal framstå som tørre.	Tillater ikke gjennomgående riss (forårsaket av strekkspenninger i hele betongtverrsnittet i brukssituasjonen), og setter krav til minste trykksehøyde.
3	Ingen form for lekkasje aksepteres.	Forutsetter bruk av spesielle tiltak, for eksempel spennarmering eller bruk av kontinuerlig, tett membran.

Oppgave 4 (15%)

a)

Forklar hva denne figuren uttrykker



Figuren viser prinsipiell porestørrelsefordeling for 2 betonger med masseforhold 0,40 og 0,80. Teoretisk hydrasjonsgrad 100% (urealistisk!). Figuren gir likevel et tilnærmet riktig inntrykk av porevolum og porestørrelsefordeling. Figuren viser godt hvor mye finere porestrukturen er ved lave masseforhold enn ved høye. Dette er et viktig bidrag til den økte fastheten ved lave masseforhold !

b)

Betongens miljøavtrykk bestemmes av en rekke faktorer knyttet til produksjon, dimensjonering, anvendelse, levetid og energibehov, samt avhending / gjenbruk (LCA). Forklar. Kan det tenkes at betongmaterialer i fremtiden blir klimanøytrale? Forklar.

- **Overgang til alternativ brensel (ikke-fossilt) i sementproduksjonen**
- **Energooptimalisering, BAT (Best Available Technology)**
- **Økt produksjon av substitutt- sementer / blandingssementer**
- **Kortreiste materialer (inn / ut), knuste materialer**
- **Benytte lavkarbonbetong (lavest mulig kg CO₂-ekvivalenter)**
- **Lavest mulig bindemiddelinhold, god nok betong**
- **Lavest mulig betongforbruk; spennvidder, hulldekker, etterspente dekker, bubble-deck, søyler, gulv på grunn (fiber)**
- **Utnyttelse av betongens magasineringsseffekt (termisk masse)**
- **Betongens levetid, drift og vedlikeholdskostnader**
- **Resirkulering og gjenbruk**

Norcem AS (den norske sementprodusenten) er en av 3 utvalgte bedrifter i Norge til å kjøre full-skala uttesting av karbonfangst ved hjelp av overskuddsenergi. Dersom dette lykkes, vil industrien kunne hevde at fremstillingen av sement er klimanøytral. Perspektiv: innen 2030.

c)

Hva menes med termisk masse, og hvordan kan denne utnyttes ?

Termisk masse beskriver et materials egenskaper i fht lagring av energi, f.eks. kulde og varme. Tunge byggematerialer, som mur og betong, har stor lagringskapasitet av energi – noe som kan benyttes til å utjevne årstøgnvariasjonene – og spare kjøle- og oppvarmingskostnader.

d)

Når sementer reagerer med vann, blir det bl.a. utviklet kalsiumhydroksyd, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Når vi tilsetter et pozzolan, får vi det vi kaller en pozzolanreaksjon. Hva blir det viktigste reaksjonsproduktet?

Det viktigste reaksjonsproduktet er C-S-H (Kalsium-Silikat – Hydrat)

Pozzolaner (romersk sementkjemi)

Definisjon: Amorfe (ikke-krystallinske, glassaktige) silika- og aluminaholdige materialer (SiO_2 og Al_2O_3) som reagerer med kalsiumhydroksid og danner produkter med bindemiddelegenskaper

Semethydratisering



Pozzolanreaksjon



Portlandsement + Pozzolan gir:

- Mer bindemiddel (lim)
- Sterkere betong
- Tettere betong
- Mer bestandig betong

Oppgave 5 (10%)

a)

Nevn minst 5 viktige forhold som virker inn på betongens herdeforløp

- **Betongsammensetning (resept)**
- **Sementtype**
- **Betongtemperatur**
- **Klimatiske forhold (temperatur, vind, RF)**
- **Forskaling / isolering**
- **Konstruktive forhold (tykkelse, armeringstype og mengde)**
- **Støpemetode / støpehastighet**
- **Herdetiltak / etterbehandling**

b)

Hva er forskjellen på autogent svinn og uttørkingssvinn (langtidssvinn)?

Autogent svinn

Svinn forårsaket av kapillærkrefter i vannmenisker som trekker partiklene sammen. Oppstår når vannet forbrukes i sementhydratasjon.

Uttørkingssvinn / langtidssvinn

Uttørking over tid. Betongen trekker seg sammen

Totalt svinn: summen av autogent svinn og uttørkingssvinn

c)

Når vi proporsjonerer etter partikkel-matriks modellen kan vi få et matriksoverskudd.

Hva innebærer et matriksoverskudd?

Forskjellen på tilslagets hulromsvolum og det matriksvolumet vi faktisk bruker i betongen, kalles betongens matriksoverskudd

Oppgave 6 (25%)

a)

Styrkeutviklingen i betong er avhengig av en rekke faktorer. Beskriv de 5 viktigste

- Sementtype
- Tilsetningsmaterialer
- Bindemiddelmengde
- Tilsetningsstoffer
- Tilslagsegenskaper (vannbehov)
- Temperatur
- Herdeforhold
- mm

b)

Micro-fiber i plast (polypropylene) anvendes hovedsakelig til?

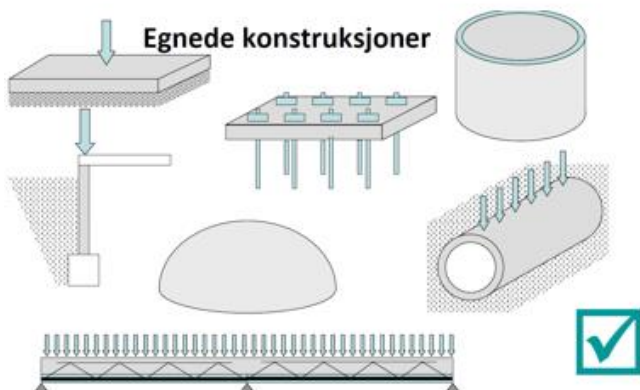
Armering mot plastisk svinn, brannmotstand og som stabiliseringsmiddel

c)

I hvilke konstruksjoner er stålfiberarmering best egnet til å ta opp momentbelastninger? Hvilke konstruksjoner er ikke egnet for stålfiberarmering? Gi eksempler.

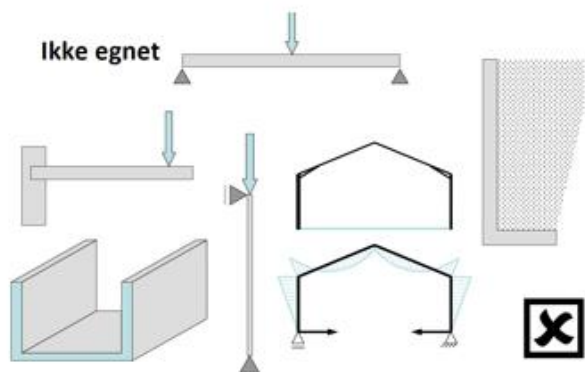
I hvilke konstruksjoner er fiberarmering egnet til å ta opp momentbelastninger?

- Statisk ubestemte konstruksjoner
 - Som gir fordeling av belastningene
 - F.eks. gulv på grunn, tunnel elementer, gulv på peler.....
- Skall konstruksjoner
 - For å gi lastfordeling
 - Redusere effekten av spredning i doseringsmengde
 - F.eks. gulv og sprøytebetong
- Statisk bestemte konstruksjoner med tilstrekkelige aksielle trykk krefter
 - F.eks. etterspente dekker (CCL) , forspennte plater, kjellervegger
- Oppsummert: Lasten som fører til det første risset, må være lavere enn lasten som fører til det siste (bruddlinje)



Hvilke konstruksjoner er ikke egnet for fiberarmering?

- Statisk bestemte konstruksjoner
 - F.eks. bjelker med et spenn eller utkraging
- Slanke konstruksjoner med trykk belastning
 - Risiko for knekking
 - F.eks. søyler, veldig tynne bærende vegger
- Konstruksjoner med vesentlig strekk krefter
 - «Tie beams» – bjelker for å ta strekk
- Konstruksjoner utsatt for fastholding
- Eller bruk
 - Kombinert armering
 - For/etter-spenning
 - Eksterne trykk krefter
 - «strain hardening» materiale



d)

Hvilke fysiske egenskaper er viktigst ved valg av tilslag til betong?

- Densitet
- Styrke, E-modul
- Vannabsorpsjon
- Fryse / tinemotstand
- Alkaliaktivitet

e)

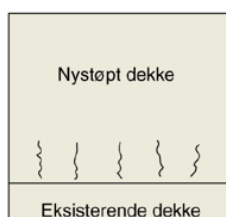
Forklar begrepene «ytre fastholding» og «indre fastholding»

«Ytre» fastholding

Opprissing på grunn av stor temperaturdifferanse mellom gammel og fersk betong



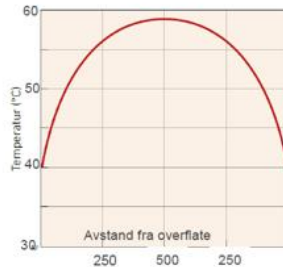
Kaldt fundament



Eksisterende dekke

«Indre» Fastholding

Kjernen i søylen er varmere enn overflaten
Det oppstår en tøyingsforskjell, og dermed spenninger.
Overflaten får strekkspenning, mens kjernen får trykkspenning.



f)

Hva er et plattendekke?

Et forskalingsdekke / «halvfabrikata» der noe er prefabrikkert og resten plasstøpt

g)

Standard Norge har tatt til orde for å endre referansetidspunkt for betongens trykkfasthet fra 28 til 91 døgn. Hva er hovedbegrunnelsen for dette forslaget?

Hovedbegrunnelsen er økt bruk av blandingssementer (CEM II – V) + økt bruk av tilsetningsmaterialer (i.e. FA) i betongen (lavkarbonbetong). Hovedsakelig pga pozzolanreaksjonen (el. hydrauliske reaksjoner) vil fasthetstilveksten utover 28 døgn kunne være betydelig (30 – 40%), og vil således ha betydning for konstruksjonens oppførsel, i.e. armeringsmengde.

h)

Hva er hovedårsaken til at tilsetning av silika (SiO_2) øker fastheten i betong?

Ekstremt fint (stor overflate) → økt tetthet → mindre porer → økt fasthet. I tillegg kommer naturligvis pozzolan-reaksjonen → C-H-S

i)

Hva karakteriserer en Geopolymerbetong?

En betong som fremstilles uten Portlandsement, men ved bruk av pozzolaner (i.e. flygeaske) + en basisk aktivator, f.eks. vannglass. Reaksjonen er endoterm (tar opp varme), i motsetning til ordinær betong – som er eksoterm (avgir varme)

j)

Strekfastheten og strekkøyingsevnen har indirekte stor betydning for betongens bruddoppførsel på trykk. Forklar.

De interne stivhetsforskjellene, komposittoppførselen og det seige bruddforløpet bidrar til å gjøre armert betong til et pålitelig konstruksjonsmateriale. Bruddforløpet i en armert betongkonstruksjon er forutsigbart, og begynnende brudd varsles tidlig i form av opprissing