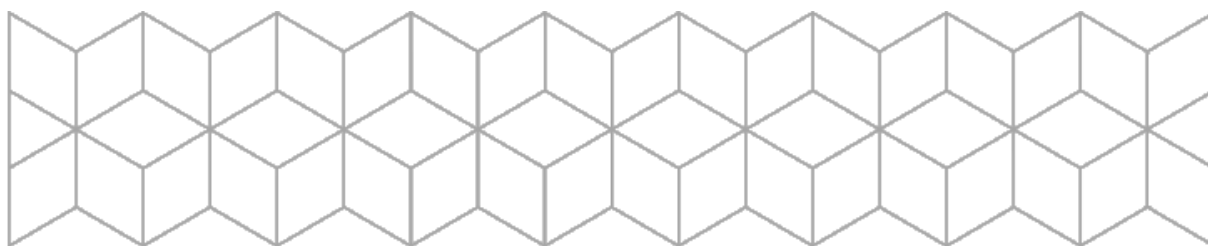


EKSAMEN

LØSNINGSFORSLAG

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Emnekode: IRB 35615 | Emnenavn: Betongteknologi |
| Dato: 13.06.2019 Sensurfrist: | Eksamenstid: 09.00 – 13.00 |
| Antall oppgavesider: Antall vedleggsider: | Faglærer: Inge R. Eeg, Tlf.: 901 90 550 Oppgaven er kontrollert: |
| Hjelpemidler: Utdelt kalkulator. Ellers ingen hjelpemidler. | |
| Om eksamensoppgaven: | |
| Kandidaten må selv kontrollere at oppgavesettet er fullstendig | |



Oppgave 1 (20%)

a) Det skal støpes en bunnplate i et parkeringshus i Tromsø.

* Areal: 15x30m²

* Tykkelse 20 cm

* Transportavstand: 15 km

Sett opp en beskrivelse av en egenskapsdefinert betong i hht. NS-EN 206, og kalkuler totale kostnader. Du trenger ikke hensynta evt. overtid, beredsskaps-tillegg el. utvidet ventetid. Vedlegg 1 og 2 (prisliste)

Teoretisk volum : 90,00 m³,

Btg.kvalitet: Bør være min. B35 MF45 (stor belastning, og frostutsatt)

Beskrivelse: **B35 M45 Cl. 0,1 D22 S4** (f.eks.)

Kostnad betong: 1350,- + 50,- + 4,- = 1404,- kr/m³ x 90m³ = **kr. 126.360,-**

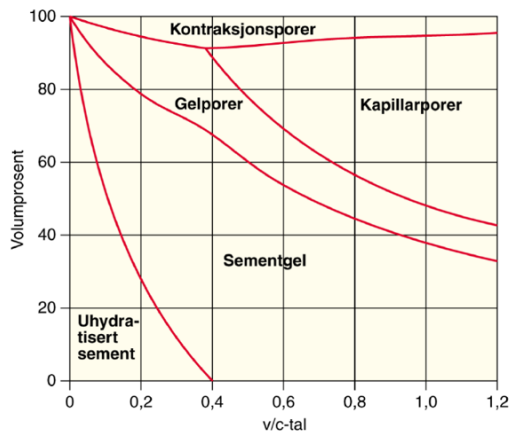
Transport : 180,50 kr/m³ x 90 m³ (15 lass) = **kr. 16.245,-**

SUM ex MVA: **kr. 142.605,-**

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

- Bestandighetsklasse M45
- 350 kg/m³ Anleggsement FA (CEM II/A-V m/17% flygeaske)
- 50 kg/m³ tilsatt flygeaske
- $(350 \text{ kg} \times 0,17 + 50 \text{ kg}) / 400 \text{ kg} = 0,27. < 0,35$ dvs OK
- $\text{Masseforhold} = v / (c + kx50) = v / (350 + 0,7x50) = v / 385 \rightarrow V = 0,45x385 =$
173,3 liter

c)



Forklar ut i fra ovenstående figur:

- Hvorfor har vi teoretisk full hydratasjon ved masseforhold 0,4?
Ca 23% av vannmengden bindes kjemisk, men ca. 18% bindes fysisk. Vannmengde utover dette (dvs. økt masseforhold) øker først og fremst kapillarporene.
- Hvorfor oppnår vi i praksis aldri full hydratasjon?
Under sementreaksjonen blir CSH-strukturen (inkludert de vannfylte gelporene) etter hvert så tett at det frie vannet i kapillarporene har vanskelig for å nå fram til det uhydratiserte materialet i kjernen av hvert sementkorn. Hydratasjonen vil derfor etter hvert bli svært langsom. Høyest hydratasjonsgrad oppnås for betong med høyt masseforhold, forutsatt at betongen ikke tørker ut for tidlig.
- Hvorfor bidrar også uhydratisert sement til fasthet?
Uhydratisert sement (dvs. klinkermaterialet) har styrke og tetthetsegenskaper omtrent som naturlige tilslagsmaterialer, og er dermed mye sterkere enn reaksjons-produktene, dvs CSH og fri kalk. Det er derfor fullt mulig å oppnå svært stor styrke og tetthet selv om mindre enn halvparten av sementen har reagert. Så lenge det dannes nok hydrat til at uhydratiserte sementkorn «limes» sammen til et kontinuerlig materiale, vil altså fastheten øke med avtagende masseforhold (og fallende hydratasjonsgrad), fordi kapillarpørøsiteten avtar.
- Hvordan påvirker kapillarporene betongens fasthet?
Økt mengde kapillarporer → redusert fasthet (og tetthet, bestandighet)

Oppgave 2 (15%)

a)

Beskriv de 3 vanligste skadeårsakene til betong

- Kloridinntrengning → armeringskorrosjon → sprengning / avskalling
- Alkaliekiselreaksjoner (AAR) → indre gelekspansjon → riss/avskalling/volumøkning
- Frost og tine – sykluser → sprengning / riss / avskalling

(Karbonatisering er i seg selv ingen skademekanisme, men kan føre til depassifisering av armeringen (red. pH) – og ved riss / kloridinntrengning (og oksygen) → korrosjon)

Kandidaten kan også ha nevnt skader forårsaket av mekanisk slitasje, konstruktive feil og/el. lastbestemte påkjenninger.

b)

Hvordan kan disse unngås / bremses?

- Tett betong, god overdekning, hindre kloridtilgang, overflatebehandling, katodisk beskyttelse
- Benytte lavalkaliesement / FA-sement, endre tilslag til ikke-risiko bergarter eller hindre fukttilgang.
- Produsere frostbestandig betong, dvs. luftinnføring samt sikre god overdekning

c)

Forklar i korte trekk sementproduksjonsprosessen

1. Uttak av kalkstein i gruver eller dagbrudd
2. Nedknusing til kalksteinsmel
3. Tilsetning av «korreksjonsmaterialer» som gips, kiselavbrann, bauxitt mm
4. Kalsineringsprosessen (avspalting av CO₂), dannelse av CaO (ca. 850 oC)
5. Klinkerproduksjon i roterovn (ca. 1450 oC)
6. Tilsetning av substituttmaterialer (flygeaske, slag, silika, kalksteinsmel)
7. Maling i rotermøller til ønske finhet (Blaine)
(Tilsetning av jernsulfat for å binde løselig krom). Forventes ikke å kunne
8. Pakking i sekk og/ el. lagring / transport i bulk

Oppgave 3 (15%)

a)

Vanlig konstruksjonsbetong har en strekk­tøyningsevne på ca 0,15‰, som er mindre enn en fjerdedel av svinnpotensialet. Hva er det som påvirket svinnet mest? Er slanke konstruksjoner mer utsatt enn grove konstruksjoner?

Svinnet påvirkes mest av:

Andel finstoff (sementlim) påvirker svinnpotensiale. Det er sementlimet som svinner, tilslaget er volumstabil. Videre vil slanke konstruksjoner være mer utsatt for opprissing enn grove konstruksjoner da grove konstruksjoner i realiteten «aldri» tørker ut, spesielt hvis de består av en tett, sterk betongkvalitet.

Også type bindemiddel er avgjørende (Blaine-verdi). Dessuten masseforholdet.

b)

Kryp defineres som økende deformasjon / tøyning over tid når konstruksjonen utsettes for vedvarende last / spenning. Nevn 4 faktorer som påvirker kryp. Kan kryp reverseres?

Spenningen kan være langt lavere enn bruddspenningen

Betongens kryp er bl.a. avhengig av:

- Omgivelsens fuktighet
- Konstruksjonsdelens tverrsnittsdimensjoner
- Betongsammensetning
- Betongens modenhet
- Spenningens varighet og størrelse

Kryp kan ved avlastning til en viss grad reverseres (reversibelt kryp)

c)

Hvilke konstruktive / fysiske konsekvenser kan alkalireaksjoner føre til? Og bestandighetsmessige konsekvenser?

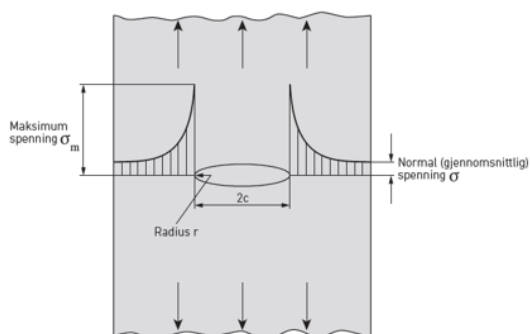
- Ekspansjoner -> tvangskrefter, fugeklemming, forskyvning av lagre, deformasjoner,...
- Reduksjon i heft mellom armering og betong
- Strekk i armeringen uten ytre last (-> flytning)
- Endring i materialegenskaper -> primært strekkfasthet og E-modul

Bestandighetsmessig vil først og fremst oppsprekking / krakellering kunne forårsake avskalling, og ikke minst kunne åpne opp for kloridinntrengning → korrosjon.

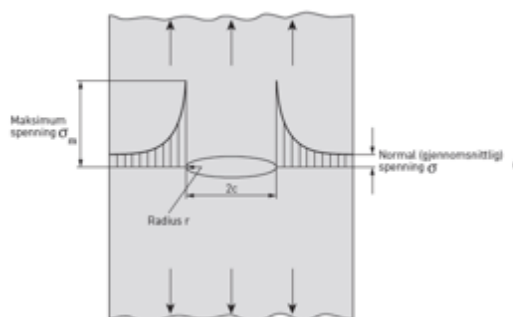
Oppgave 4 (15%)

a)

Forklar hva denne figuren uttrykker



Løsning:



Maksimalspenningen:

$$\sigma_m = 2 \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{c}{r}}$$

Sprebuddfastheten:

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{G_c \cdot E}{\pi \cdot c}}$$

G_c - nødvendig arbeid for å åpne en ny bruddflate
 E - elastisitetsmodulen

Figuren viser spenningskonsentrasjon ved en idealisert sprekk i et sprøtt materiale under strekkpåkjenning. Et sprøtt materiale, i motsetning til et duktilt materiale, har ingen evne til tøyning ut over tøyingsnivået ved største spenning.

Maksimalspenningen, σ_m , er tilnærmet gitt ved uttrykket:

$$\sigma_m = 2 \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{c}{r}}$$

σ_m er maksimal spenning
 σ er nominell spenning, dvs. spenning i materialet et stykke unna sprekk
 c er halve sprekkvidden
 r er krumningsradien i sprekkenden

Dvs.: Maksimalspenningen øker med økende sprekkvidde, og avtagende krumningsradius, dvs. skarpere sprekk.

b)

Betongens miljøavtrykk bestemmes av en rekke faktorer knyttet til produksjon, anvendelse (levetid) og avhending / gjenbruk (LCA). Forklar.

- * Kalsineringsprosessen hvor CO₂ avspaltes
- * Bruk av alternative brennstoff i sementproduksjonen
- * Energieffektivitet i sement.- og betongproduksjon
- * Bruk av substituttmaterialer i sement og betongproduksjonen
- * Transport (langreist / kortreist, transportmidler)
- * FDV (Forvaltning, Drift og Vedlikehold)
- * Levetid
- * Utnyttelse av termisk masse / passivhus
- * Karbonatisering
- * Gjenbruk / resirkulering
- * Karbonfangst

c)

Kan det tenkes at betongmaterialer i fremtiden blir klimanøytrale? Forklar.

Det meste er forklart i oppgaven over, men for å bli miljønøytral eller sågar miljøpositiv avhenger det først og fremst av:

1. At man lykkes med karbonfangst
2. At CO₂-opptak i betong krediteres (bl.a. i EPD`er)

d)

Når sementer reagerer med vann, blir det bl.a. utviklet kalsiumhydroksyd, Ca(OH)₂. Når vi tilsetter et pozzolan, får vi det vi kaller en pozzolanreaksjon. Hva blir det viktigste reaksjonsproduktet?

Ca(OH)₂ + SiO₂ → **CSH** (kalsiumsilikathydrat) dvs. ytterligere bidrag til styrkeutvikling.

Bruk av pozzolane tilsetningsmaterialer som flygeaske og slagg gir litt større porøsitet enn rene portlandsementer når de erstattes 1:1 pga at det kjemiske svinnet er større i pozzolanreaksjonen enn i sement-reaksjonen. Dette er nødvendigvis ikke en negativ effekt, fordi disse materialene også gir en finere porestruktur, og dermed en tettere betong, til tross for litt større kapillær og kontraksjonsporøsitet. Dette gjelder spesielt ved bruk av silika.

Oppgave 5 (10%)

a)

Nevn minst 5 viktige forhold som virker inn på betongens herdeforløp

- Bindemidler (type)
- Bindemiddelinnhold / masseforhold
- Betongtemperatur
- Lufttemperatur
- Type forskaling
- Dimensjoner
- Herdetiltak

b)

Forklar modenhetsbegrepet

Tid og temperatur er to av de viktigste faktorene som påvirker betongens fasthetsutvikling. Den kombinerte effekten av tid og temperatur-historiens virkning på fastheten er kalt modenhet. Modenhet er tid multiplisert med reaksjonshastighet.

c)

Hva kan herdeteknologi benyttes til?

-
- › Når skal forskalingen rives?
 - › Hva må evt. gjøres for å kunne rive etter fremdriftsplanen?
 - › Bør vi benytte en annen sementtype?
 - › Hvilke tilsetningsstoffer er aktuelle?
 - › Bør vi øke sementmengden?
 - › Bør betongtemperaturen økes?
 - › Har vi riktig forskaling?
 - › Er det fare for at betongen kan fryse?
 - › Hvordan bør betongen tildekkes?
 - › Hvor lenge bør den være tildekket?
 - › vil det ved formriving være fare for opprissing?
 - › Osv....

Oppgave 6 (25%)

a)

Hva karakteriserer en fiberbetong? Angi 5 karakteristikk.

- Hele betongtverrsnittet er armert
- God fordeling av svinnsprekker / riss
- God slagmotstand
- Økt seighet i betongen (last-/deformasjon)
- Kostnadseffektivt

b)

Sprøytebetong / energiabsorpsjon

Testen utføres på sirkulære prøveplater som er sprøytet in-situ og lagret fuktig frem til prøving. Prøvingen er en sentrert deformasjonsstyrt last frem til til brudd. NB 7 angir 3 nivåer for E-abs., målt i Joule.

c)

Hvilke anvendelsesområder er vanligst for stålfiberbetong?

- Sprøytebetong
- Gulv på grunn
- Dekker (som skjær-, og momentarmering)
- Kommunalvarer (rør og kummer)

Statisk ubestemte konstruksjoner

d)

Micro-fiber i plast (polypropylen) anvendes hovedsaklig til?

- Motvirke plastiske svinnriss
- Brannmotstand
- Til en viss grad som fordelingsarmering
- Stabilisere betong med separasjonstendens

e)

Hva er partikkelsprang? ?

Partikkelsprang er når en eller flere fraksjoner mangler på tilslagskurven

f)

Hva er partikkelinterferens?

Partikkelinterferens er når enkelte fraksjoner er overrepresentert.

g)

Hvordan vil du beskrive et velegnet tilslag til betongfremstilling?

Et velegnet tilslag er:

- * Rent (fritt for humus el. andre organiske materialer)
- * Har god mekanisk styrke og frostbestandighet
- * Har god kjemisk motstand mot bl.a. sulfater og nitrater
- * Har en god kornfordeling (velgradert)
- * Har en god kornform (mest mulig kubisk / rund)
- * Liten vannabsorpsjon

h)

Hva kjennetegner et latent hydraulisk materiale?

Trenger ikke tilstedeværelse av portlandsement for å starte den kjemiske reaksjonen, kun tilstrekkelig høy pH. Granulert råjernslag er det mest vanlige materialet til betongformål i denne sammenheng. Jfr også *geopolymerbetong*.

i)

BLAINE

Sementens Blaine-verdi beskriver finheten (m²/kg). Typiske verdier er 300 – 500 m²/kg. Jo høyere Blaine, jo høyere finhet og høyere vannbehov

j)

Hvilke krav og anbefalinger gjelder for fremstilling av vanntett betong?

- › 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**.*