

Vurdering af revner i nye betonbygværker

Ny håndbog

Dansk Brodag 2023
Hans Henrik Christensen

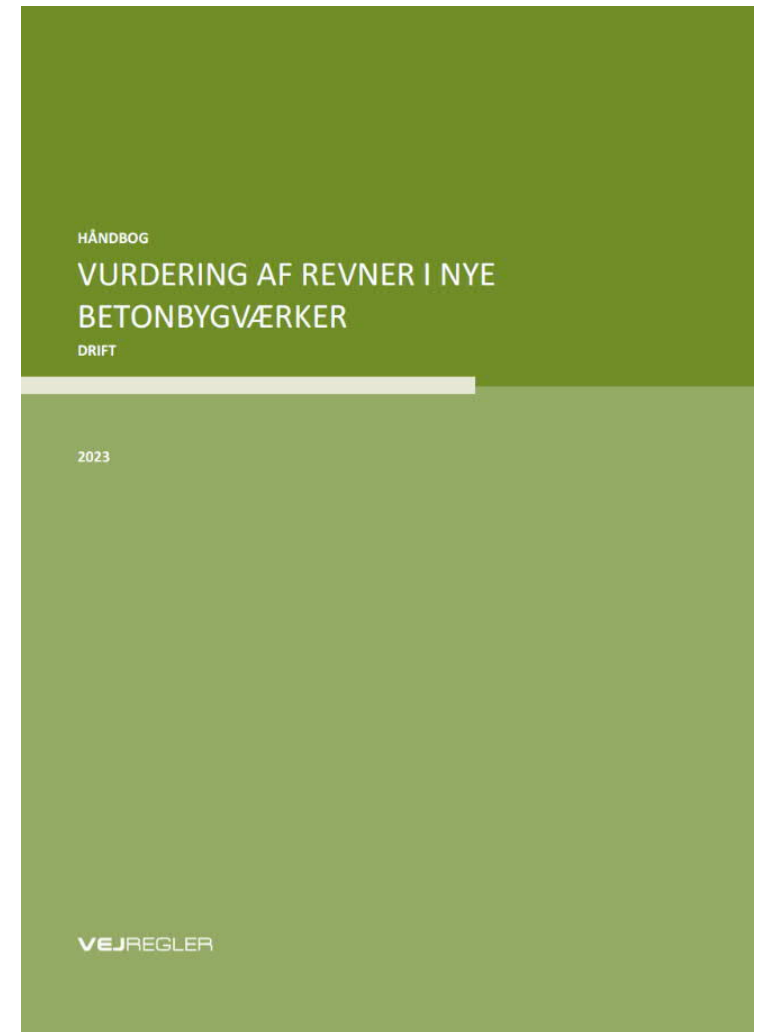
RAMBOLL

Bright ideas.
Sustainable change.



Indhold af præsentationen

1. Hvorfor håndbog til vurdering af revner i nye betonbygværker?
2. Hvad er problemet med revner i beton?
3. Typiske revner og overfladeskader
4. Revnemønstre
5. Vurdering af registrerede revner – kriterier ift. normens krav
6. Måling af revnevidder i marken
7. Cases



Hvorfor håndbog til vurdering af revner i nye betonbygværker?

Fordi vi har brug et værktøj – en systematisk, ensartet og transparent procedure – til at vurdere om:

- revner og overfladeskader, der konstateres ifm. afleveringen og senere mangelgennemgang, ligger udenfor kravspecifikationerne i aftalegrundlaget
- revner, som ligger uden for kravspecifikationerne, skyldes projekteringsfejl eller udførelsesfejl
- manglerne skal afhjælpes/udbedres og i givet fald af hvem

Det kræver et grundlag:

- Baggrundsviden om normens krav
- Opstilling af testkrav og procedure for registrering i marken og vurdering af målinger ift. normens krav

Håndbogen vil være knyttet til 'Drift':

- BDK og VD udfører det første generaleftersyn ifm. afleveringen

Nye betonbygværker er 'målgruppen' - håndbogen kan også benyttes for ældre bygværker:

- Bygværker, som er ibrugtaget, men stadigvæk dækket af afhjælpsperioden

Det er naturligt, at der optræder revner i beton

- Beton kan kun i ringe grad optage træk, men er til gengæld god til at optage tryk
 - Vi kan ikke forlade os på betonens trækstyrke, som reduceres med tiden ved permanent trækpåvirkning
- Slap og spændt armering skal sikre, at
 - trækkrafter kan optages,
 - revner fordeles og revnevidder er under kontrol



Men hvad er så problemet med revner i beton?

- Bæreevnmæssig sikkerhed
 - Grove revner kan være en indikation på projekterings- eller udførelsesfejl, som i værste fald kan true den bæreevnmæssige sikkerhed
- Holdbarhed
 - Revner kan under visse forhold skabe betingelser for korrosion, som kan påvirke bæreevnen og accelerere nedbrydningen og medføre utilsigtede reparationsudgifter
 - Særlig opmærksomhed på gennemgående revner kombineret med vandgennemslivning
- Æstetik
 - Revner med udfældninger pynter ikke, selvom de normalt er harmløse



Typiske revner og overfladeskader

Typiske revnedannelser og deres årsag:

1. Revner, som skyldes træk i overfladen hidrørende fra plastisk svind
 - pga. mangelfuld beskyttelse mod udtørring (vind, sol) under hærkning
2. Revner, som skyldes træk pga. temperaturforskelle i forbindelse med støbning ("early age cracking"),
 - herunder støbning mod eksisterende konstruktioner
3. Revner, som skyldes træk pga. svind i forbindelse med geometrisk fastholdelse
 - fx støbning af væg mod fundament eller støbning af dæk mod vægge
4. Statiske revner, som skyldes træk hidrørende fra ydre laster
 - træk, bøjning, forskydning og vridning
 - spalterevner i forspændingens forankringszone og ifm. koncentrerede lejereaktioner

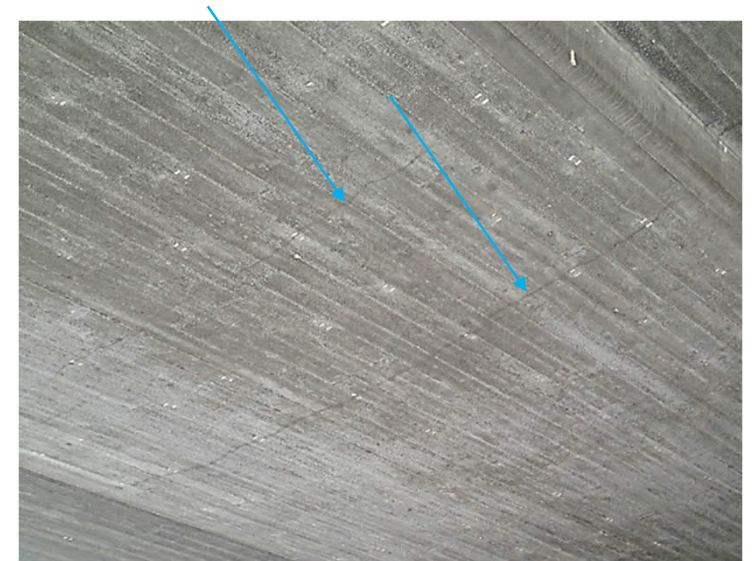
Overfladeskader: fx porer

Revneviddekrav for bygværker – slapt armeret

Statistiske revner for broer, som er slapt armeret:

- Revneviddekravene er anført i DS/EN 1992-2 DK NA, Vejledning til belastnings- og beregningsgrundlag for broer og BN1-59
- Brodæk: Revnevidden beregnes i anvendelsesgrænsetilstanden (hyppig lastkombination med trafiklast)

Revneviddekrav w_{\max} [mm]	Anvendelsesgrænsetilstanden (hyppig lastkombination)
0,20	Kantbjælker (miljøpåvirkning E)
0,30	For øvrige slapt armerede dele (miljøpåvirkning A)
0,20	Søjler og vægge tæt på vej og sti, som saltes (miljøpåvirkning E)
skærpet	Vægge med vandtryk



Revneviddekrav for bygværker – slapt armeret

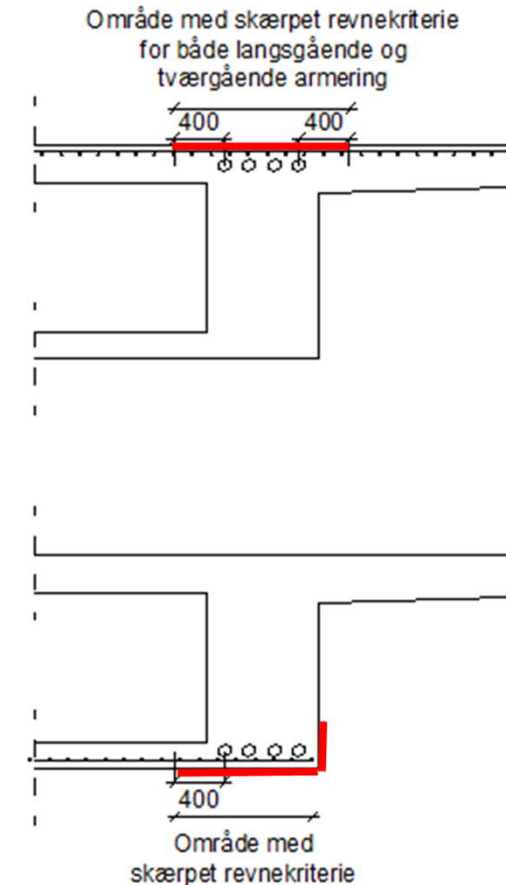
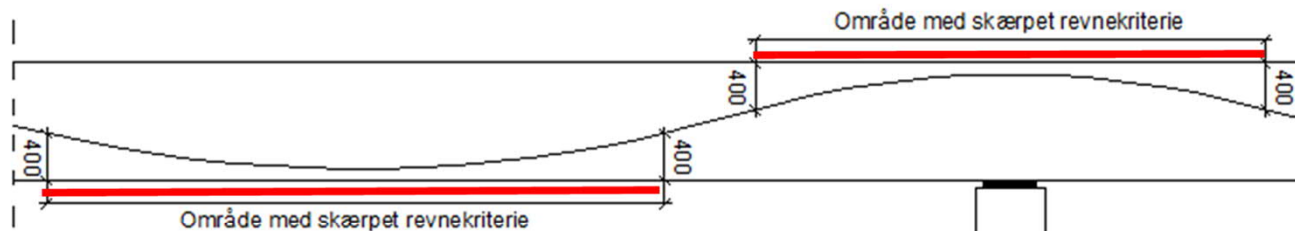
Revner, som skyldes temperaturforskelle og svind:

- Samme revneviddekrav som for slapt armerede konstruktioner
- Revnevidder begrænses ved hensigtsmæssig placering af fuger, revneanvisere, støbeskel og ilægning af supplerende armering tættest på den geometriske fastholdelse.
- Supplerende krav - og strategi - til forebyggelse af uacceptabelt store revner og vandgennemslivning i støtte- og fløjvægge er anført i afsnit 4.2.4 i Projekteringsgrundlag for broer.
- Temperaturkrav skal være specificeret i udbudsmaterialet jf. Betonbro Beton AAB / SAB-P og skal overholdes
- Køling kan komme på tale, såfremt temperaturkrav ikke kan overholdes



Revneviddekrav for bygværker – forspændte broer

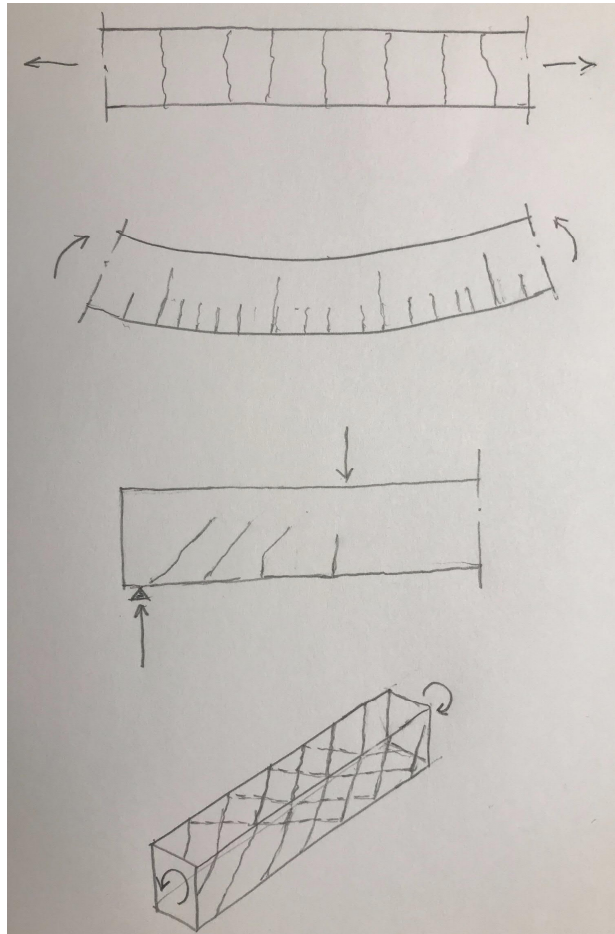
Statiske revner for broer, som er forspændt



Hele tværsnittet vinkelret på forspændingen skal være i tryk for kvasi-permanent lastkombination

Revneviddekrav w_{max} [mm]	Anvendelsesgrænsetilstanden (hyppig lastkombination)
0,10	Kantbjælker (miljøpåvirkning E)
0,20	Tæt på forspændingen dækket af 400mm-kravet (miljøpåvirkning A)
0,30	For øvrige slapt armerede dele på tværs (miljøpåvirkning A)

Revnemønstre – statiske revner



Beton revner, når betonens trækstyrke overskrides

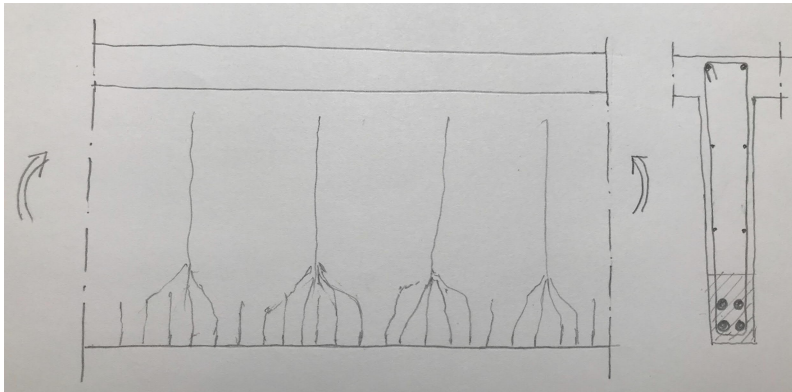
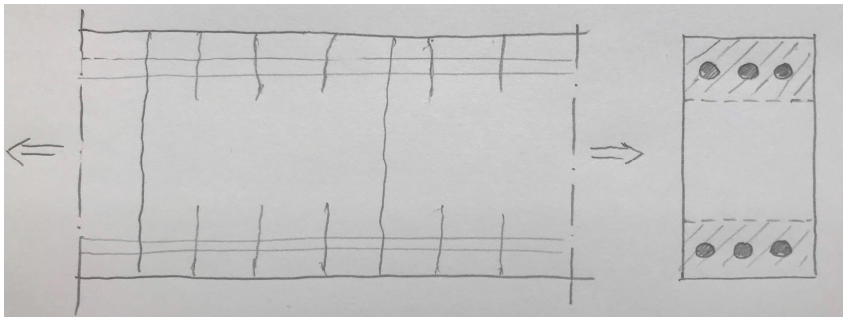
- Revner vinkelret på den største trækspænding (hovedtrækspændingen)

Klassiske typer af statiske revner:

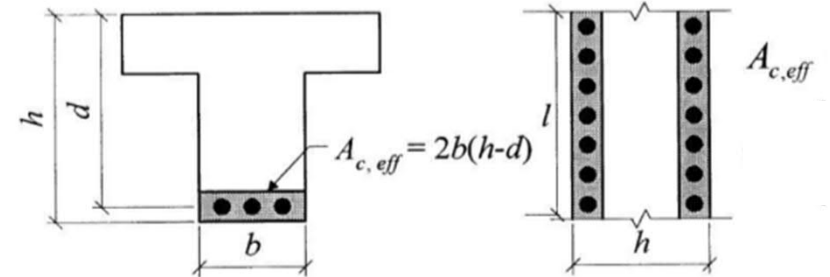
- Trækrevner
- Bøjningsrevner
- Forskydningsrevner
- Vridningsrevner

Revnemønstre - det grove og fine revnesystem

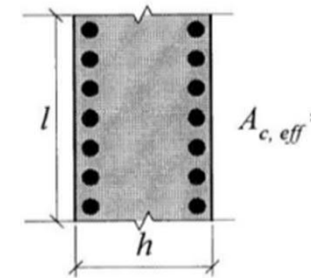
– effektivt betonareal



Fine
revnesystemer



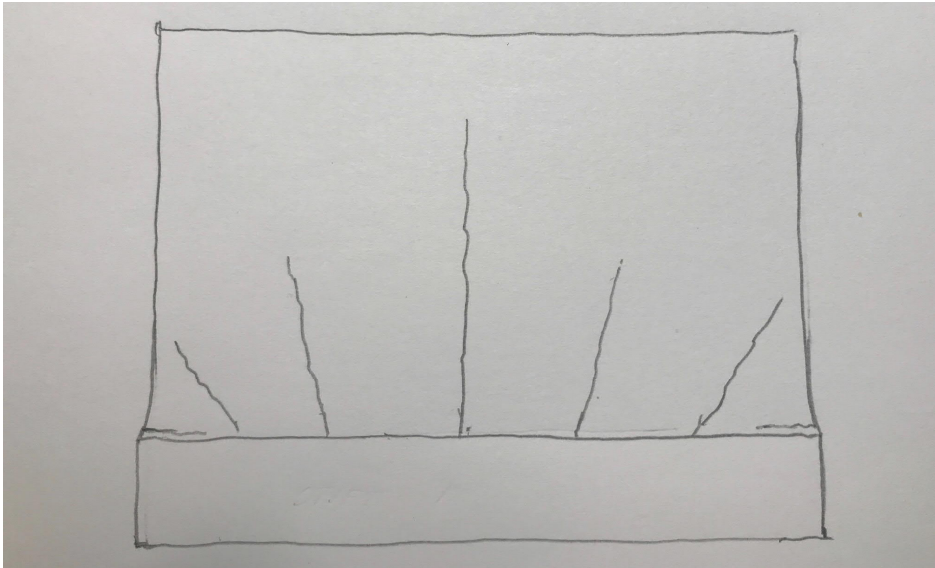
Grove
revnesystemer



$$\rho = \sqrt{\frac{\phi f_{ct,eff}}{4E_{sk} k w_k}}$$

(revneudviklende fase,
hvor nye revner dannes)

Revnemønstre ved støbning mod geometrisk fastholdelse (termo- og svindrevner)

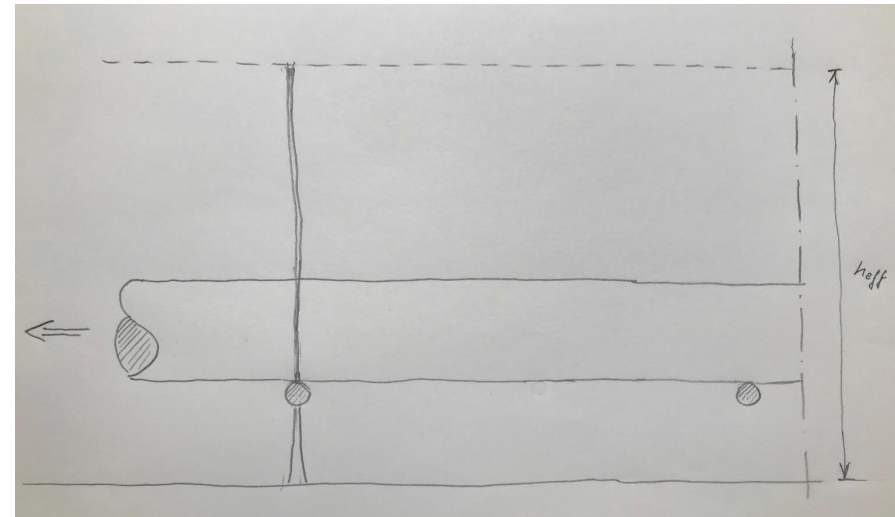
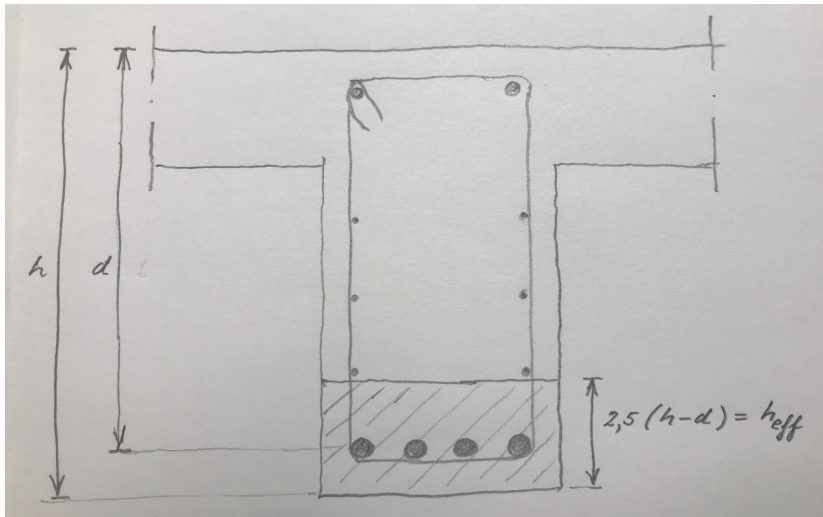


Geometrisk fastholdelse af væg i stift fundament



Geometrisk fastholdelse af bundplade i vægge

Vurdering af registrerede revner - normens grundlag



Revnevidde, w_k , som beregnes iht. DS/EN 1992-1-1 for en bøjningspåvirket betonbjælke:

- Gennemsnitsværdi over højden, h_{eff} , af det effektive trækpåvirkede betonareal.

Det effektive trækpåvirkede betonareal:

- Betonareal, som kan regnes aktiveret omkring hovedarmeringen mellem revnerne

Vurdering af registrerede revner - normens grundlag

Den revnevidde, w_k , som beregnes iht. DS/EN 1992-1-1 er øvre karakteristisk revnevidde, som fremkommer ved at benytte en øvre karakteristisk revneafstand $s_{r,max}$:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_{max}$$

hvor

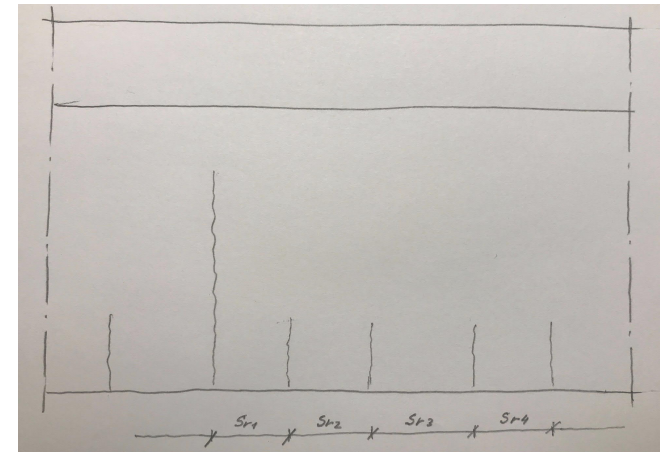
w_{max} : Revneviddegrænse anført i DS/EN 1992-2 DK NA

$s_{r,max} = s_{r,k} = s_{95\%} = 1,7 \cdot s_m$: Karakteristisk revneafstand
(95% fraktilværdi – variationskoefficient (spredning/forventningsværdi) på 40%)

s_m : Middelfastand mellem revner

ε_{sm} : Middeltøjning i armeringen (tøjning: forlængelse pr. længdeenhed)

ε_{cm} : Middeltøjning i betonen mellem revner



Vurdering af registrerede revner – kriterier ift. normens krav

Ved korrekt dimensionering forventes gennemsnitsværdien, $w_{gennemsnit}$, målt over højden, h_{eff} , for revner i den hårdest påvirkede trækzone at være

- væsentlig mindre end den beregnede værdi w_k (øvre karakteristisk værdi) og den maks. grænsen w_{max}

'Pragmatiske' kriterier foreslås anvendt ved kontrolmålinger af revnevidder i marken:

- $w_{gennemsnit} \leq w_{max}$
- $w_{test,95\%} \leq 1,3 \cdot w_{max}$ (det hårde krav er til sammenligning: $w_{test,95\%} \leq 1,0 \cdot w_{max}$)

hvor

- $w_{test,95\%}$ - 95% fraktil-værdien
 - bestemmes ud fra et givent antal revner i den kritiske trækzone. For hver revne udføres tre målinger i hhv. underside, tyngdepunkt af armering og overside af højden h_{eff} .
- $w_{gennemsnit}$
 - bestemmes som gennemsnitsværdien af de samme målinger



Måling af revnevidder i marken

Trinvis tilgang:

1. Ved mistanke om overskridelse af revneviddekrav:

- Fastlæggelse af kritisk område, identifikation af revnetyper og kortlægning af revnebillede

2. Indledende målinger af de største revnevidder:

- Hvis revnevidder overholder grænsen stoppes her

3. Ved usikkerhed om revneviddekrav er overholdt:

- Detaljerede revneviddemålinger på statistisk grundlag
- Målinger udføres langs forhåndsdefinerede linjer fastlagt ift. armeringsjernenes placering (identificeres med dæklagsmåler)
- Bestemmelse af gennemsnits- og 95%-fraktilværdier.

- Trin 1 og 2 kan udføres ifm. broeftersyn, mens trin 3 normalt kræver assistance fra specialister

Måling af revnevidder i marken

Der udføres prøvemålinger af revnevidder, inden egentlig måling gennemføres:

- Enighed mellem de personer, som måler, bør etableres – særligt i tilfælde af tvist parterne imellem
- Revnevidden defineres som den vinkelrette afstand mellem de to skarpt aftegnede grænser/kanter, som omgrænser revnen

Vigtigt at være opmærksom på årstidens og temperaturens indflydelse på revnernes størrelse:

- Revner i fastholdte vægge være størst i vinterperioden, hvorfor måling af revnevidder for disse bør udføres i denne periode

Cases – skabelon for fremgangsmåde og afrapportering

1. Beskrivelse af bygværk (stamdata)
2. Beskrivelse af revner
3. Mulig årsag til revnedannelsen
4. Krav til revnevidder i projekteringsgrundlaget
5. Fortolkning af revneviddekrav for det konkrete projekt
6. Analyse af årsagen til revnerne
7. Afhjælpning

Case 1: Revner i brovinge



Hele tværsnittet vinkelret på forspændingen skal være i tryk for kvasi-permanent lastkombination

Revneviddekrav w_{\max} [mm]	Anvendelsesgrænsetilstanden (hyppig lastkombination)
0,10	Kantbjælker (miljøpåvirkning E)
0,20	Tæt på forspændingen dækket af 400mm-kravet (miljøpåvirkning A)
0,30	For øvrige slapt armerede dele på tværs (miljøpåvirkning A)

3. Mulige årsager til revnedannelse

- Revnerne er koncentreret omkring mellemunderstøtningen og vurderes at være knyttet til det negative bøjningsmoment

4. Krav til revnevidder i projekteringsgrundlaget

- Se skema for forspændt bro

5. Fortolkning af kravet for det konkrete projekt

- Svært at rejse krav, hvis broen kan være benyttet til arbejdsførsel i anlægsperioden

6. Analyse af årsagen til revnerne

- 'Som udført'- tegninger - ændringer undervejs i armeringsudformningen kan være en del af årsagen
- Tilgængelige fotos og optegnelser kan være en hjælp
- Udførelse af supplerende uafhængige revneviddeberegninger

7. Afhjælpning

- I den konkrete sag med revner i den yderste del af brovingen, skal revner større end 0,20mm injiceres. For mindre revnevidder kan overfladebehandling evt. komme på tale.

Case 2: Revner i ende- og fløjvægge pga. geometrisk fastholdelse (støbeskel)



3. Mulige årsager til revnedannelse

- Lodrette revner er forventelige, når der støbes mod et kraftigt fundament
- De skrå revner er forventelige for støbning mod støbeskel, men revnerne fremstår mere markante

4. Krav til revnevidder i projekteringsgrundlaget

- Se skema for slapt armeret bygværk

5. Fortolkning af kravet for det konkrete projekt

- Revneviddekrav er klart i det konkrete tilfælde - overholdelse afgøres ved kontrolmåling på stedet

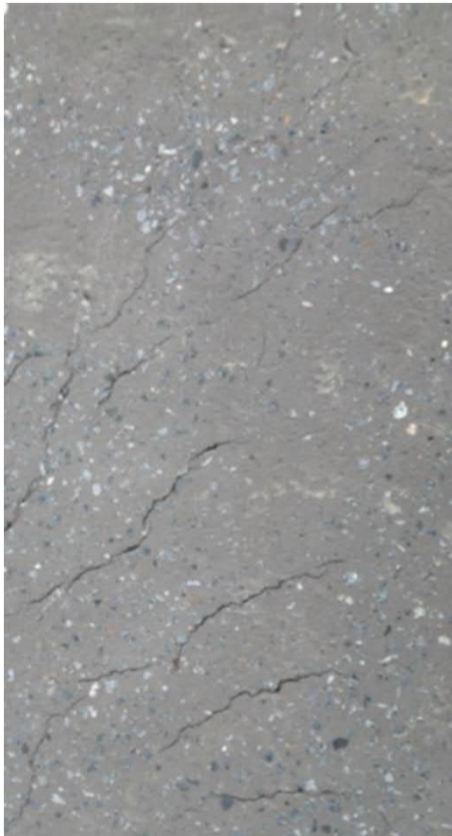
6. Analyse af årsagen til revnerne

- 'Som udført'- tegninger - ændringer undervejs vedr. placering af støbeskel kan være en del af årsagen
- Tilgængelige fotos og optegnelser kan være en hjælp
- Udførelse af supplerende uafhængige revneviddeberegninger

7. Afhjælpning

- Injicering af revner med revnevidde større end grænsen i kravspecifikationerne skal udføres

Case 4: Revner i brodæk pga. plastisk svind



3. Mulige årsager til revnedannelse

- Tidlig udtørring af overfladen, mens betonen endnu er frisk, på grund af manglende eller for sent udført curing og afdækning
- Risikoen er størst ved udstøbning i varmt og solrigt vejr og/eller med kraftig vindpåvirkning -> hurtig udtørring af overfladen
- Risikoen forøges for tætte betontyper med lavt v/c-tal, og hvor der er tilsat mikrosilica og flyveaske

4. Krav til revnevidder i projekteringsgrundlaget

- Krav om forebyggelse anført i AAB Beton inkl. SAB og referencer
- Forebyggelsen skal tænkes ind i udførelsen og skal kunne justeres ift. vejr- og vindforhold på støbetidspunktet

5. Fortolkning af kravet for det konkrete projekt

- Revner burde ikke forekomme og skaden skal afhjælpes

6. Analyse af årsagen til revnerne

- For at bestemme dybden af revnerne og klarlægge den præcise årsag bør der udtages små korte borekerner i dæklaget

7. Afhjælpning

- Skaden skal udbedres, dvs. revner lukkes, inden fugtisolering påføres

Case 5: Brosøjle med netrevner – plastiske / temperatur



3. Mulige årsager til revnedannelse

- Form ikke tilstrækkeligt beskyttet mod vejr og vind ifm. udstøbning
- Formen fjernet for tidligt uden efterfølgende beskyttelse mod udtørring

4. Krav til revnevidder i projekteringsgrundlaget

- Krav om forebyggelse anført i AAB Beton inkl. SAB og referencer
- Forebyggelsen skal tænkes ind i udførelsen og skal kunne justeres ift. de pågældende vejr- og vindforhold på støbetidspunktet

5. Fortolkning af kravet for det konkrete projekt

- Revner burde ikke forekomme og skaden skal afhjælpes, hvis skaden har indflydelse på holdbarheden

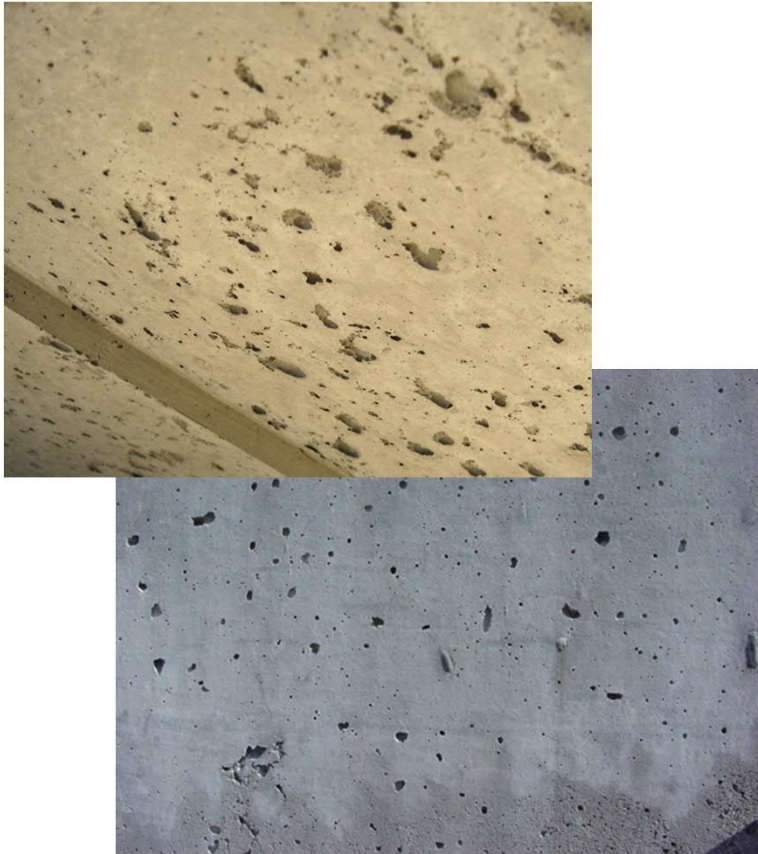
6. Analyse af årsagen til revnerne

- For at bestemme dybden af revnerne og klarlægge den præcise årsag bør der udtages små korte borekerner i dæklaget

7. Afhjælpning

- Skaden skal udbedres, hvis revnerne vurderes at have indflydelse på holdbarheden

Case 6: Overfladeporer – dæk, kantbjælker og brosjøjer



3. Mulig årsag

- Den friske beton for stiv i forhold til støbeopgaven
- Manglende vibrering
- Manglende formdug ifm. kompliceret geometri (skrå flader)

4. Krav til overfladen i udbudsmaterialet

- Kravene vedr. porer er beskrevet i AAB Beton
- Synlige, ikke-synlige overflader og overflader, som skal fugtisoleres

5. Fortolkning af kravet for det konkrete projekt

- Om omfanget af tilladelige porer er overskredet afklares ved optælling af porer

7. Afhjælpning

- Porer skal lukkes i henhold til kravene i AAB Beton

Opsamling

Det er naturligt at beton revner – de færreste revner overskrider kravene eller er kritiske

- Men revnedannelse / – udbredelse ifm. udførelsen bør forebygges / minimeres

Hvad kan håndbogen bruges til?

- Værktøj til bygherren – vurdering af om aftalte produkt er leveret
- Entreprenør og rådgiver - behandles på samme grundlag i alle projekter

Udgivelse:

- Hvornår?
- Hvad mangler?

Tak for
opmærksomheden