



HÅNDBOG OM BETONRØR

AFLØB

dansk beton
Betonvareforeningen

FORORD



*Mogens Rosenkilde,
næstformand for Beton-
vareforeningen i Dansk
Byggeri.*

Afløbssystemer er godt gemt under overfladen, men ikke desto mindre har de stor betydning for danskernes hverdag, for samfundet og ikke mindst for de fremtidige ændrede klimaforhold

Der findes ca. 55.000 kilometer betonafløbsledninger i Danmark, og betonrør fremstilles i dag i automatiserede og digitale processer. Betonrør er en bæredygtig løsning for afløbssystemer, primært fordi betonrør har en lang levetid – faktisk holder betonrør i langt over 100 år. Det betyder også, at det er vigtigt at vælge de rigtige rørløsninger og have fokus på lægning og dokumentation af rør, når nye strækninger lægges.

Det er gennem samarbejde mellem producenter af afløbsrør i beton, som alle er medlemmer af Dansk Beton, Betonvareforeningen Byggeri at denne håndbog er kommet i stand. Målgruppen for håndbogen er bygherrer, kommuner, forsynings-selskaber, entreprenører og rådgivere.

Håndbogen sammenfatter og opdaterer al den viden, der findes om betonrør både i forhold til produktion og udførelse. Dansk Beton, Betonvareforeningens ambition er, at håndbogen vil blive opdateret løbende i de kommende år i takt med, at behovet for nye kapitler opstår.

God læselyst.

Danske producenter af betonrør:

Gammelrand
Beton A/S



RC BETON
A CRH COMPANY

 **Thisted-Fjerritslev
Cementvarefabrik A/S**



INDHOLD

Side 4

Betonrørenes historie

Side 7

Produktstandarder og
CE-mærkning

Side 9

Samlinger, rør, brønde og
bygværker

Side 14

Betonrørs vandførings- og
selvrensningsevne

Side 19

Lægning af betonrør

Side 24

Tæthedsprøvning af
betonafløbsledninger

Side 27

TV-inspektion af nye
betonledninger

Side 34

Autogen healing af revner
i beton

Side 38

Betonrørs bestandighed

Side 42

Livscyklus for rør og
brøndgods i beton

BETONRØRENE HISTORIE

Betonrørenes historie hænger sammen med historien om det danske kloaksystem



I Danmark starter kloaksystemernes historie med kolera-epidemien i 1850'erne. Man indså, at det var nødvendigt at fjerne spildevandet fra gaden og begyndte at bygge underjordiske ledningssystemer

I slutningen af 1800-tallet begyndte de vandskyllede klosetter at dukke op, og de måtte kun installeres, hvis de kunne blive tilsluttet en kloakledning. Kloaksystemerne blev ofte udført helt planløst og uden tilstrækkeligt fald og dimension til at lede spildevand og regnvand væk. Materialerne var glaseret ler til de små ledninger og beton og murede ledninger til de store ledninger.

En egentlig betonrørsproduktion blev startet i 1884 med muffeløse rør. I 1916 udgav Dansk Ingeniørforening "Normer for betonrør", der omhandlede prøvningsmetoder til betonrør. Normerne udkom, fordi de betonrør, der blev fremstillet i starten af 1900-tallet, var af meget dårlig kvalitet. Brugere havde brug for faste målbare krav til produkterne og fabrikanterne havde behov for hjælp til beregning af blandingsforhold, hærdetid m.v. Betonrør blev med tiden det mest anvendte materiale til både hovedledninger og til stikledninger. På det tidspunkt blev betonrør samlet ved, at hulrummet mellem spids- og muffedende blev fyldt med asfalt, ler eller cementmørtel.

Nye normer

I 1941 udkom der nye normer på betonområdet, som samtidig blev danske standarder (DS 400). Nu blev der stillet krav til mål, styrke og tæthed for rør, formstykker og brøndgods af beton.

I 1941 blev Betonvarekontrollen oprettet. Betonvarekontrollen var en frivillig kontrolordning, der kontrollerede, om produkterne opfyldte betingelserne i standarden. Betonvarekontrollen eksisterer stadig.

I 1960'erne gik udviklingen af materialer stærkt. Plastrør med gummiringssamlinger kom ind på markedet og gt-røret, som var et betonrør med gummipakning blev introduceret.

I 1980'erne blev de nuværende kendte højfleksible gummipakninger, den indstøbte ig-pakning og EURO lamelpakningen, indført.

Produktionen af betonrør er også gradvis blevet mere og mere industrialiseret. I starten blev betonen håndstampet ned i rørformen. I dag bruger man vibrations-teknikker, der er computer- og hydraulik-styrede og indgår i automatiske fremstillingsanlæg. Nutidens betonrør har stor styrke, tæthed, gode korrosionsegenskaber og højfleksible samlinger.

Kontrol af betonrør

Betonrør gennemgår i dag en omfattende kontrol. Denne kontrol omfatter bl.a.:

- **Delmaterialer:** Råvarekontrol af sand, grus og cement
- **Udstøbning:** kontrol af beton og blandeudstyr samt af produkterne lige efter udstøbning
- **På midlertidigt lager:** kontrol af geometri, styrke, tæthed og finish
- **På hærdelager:** visuel kontrol efter intern transport

NUTIDENS BETONRØR

Betonbranchen har således gennemgået en rivende udvikling både teknologisk og branchemæssigt. Fra omkring 250 min-

dre danske rørfabrikker i 1960'erne til i dag kun tre store virksomheder. Både produktionsudstyret og kontrol-

systemerne har udviklet sig markant, så betonrør i dag har en meget ensartet kvalitet og lang levetid.



I dag leveres betonledningerne i dimensionerne DN250 til DN2500 mm.

TØRSTØBT OG VÅDSTØBT BETON

Til fremstilling af mindre rør og brøndgods anvendes den såkaldte tørstøbning. Ordet skal ikke tages bogstaveligt, men betyder, at betonen selvfølgelig er tilsat vand, men fremtræder tør (jordfugtig).

Ved at komprimere beton med et lavt vandindhold og sand/stenmateriale med en jævn kornkurve er betonen stabil umiddelbart kort tid efter udstøbning og formene kan fjernes. Denne støbetechnik hvor vand-cementforholdet er lavt giver en meget stærk og tæt beton.

Rør med dimensioner over ca. DN1600 mm samt brøndbunde, store brønde og bygværker bliver produceret i støbeforme, som typisk bliver afformet dagen efter støbning. Til den type støbning bliver der anvendt en mere flydende

beton, som er lettere at vibrere. Dette kaldes vådstøbning.

De nye produktionsformer medfører, at betonrør og -brønde i dag produceres bæredygtigt og har lang levetid.



Eksempel på tørstøbt beton



Eksempel på vådstøbt beton

PRODUKTSTANDAR- DER OG CE-MÆRKNING

I mange år, faktisk siden 1916, har der eksisteret standarder for eksempelvis betonrør og betonbrønde

EN 1916 DS 2420-1
420 180 40 / CE 150

Standarderne er blevet brugt til at producere rør og brønde på ensartede måder. Derudover er de brugt som grundlag for frivillige kontrolordninger

Nu er udarbejdelsen af mange standarder bl.a. de for betonrør og -brønde overgået til den europæiske standardiseringsorganisation CEN (European Committee for Standardization), der står for udarbejdelsen af fælles europæiske standarder. De fælles produktstandarder fra CEN, skal fremme handlen i det indre marked. De bliver kaldt harmoniserede standarder og er udarbejdet på bag-

grund af bestillinger (mandater) fra Europa-Kommission.

Byggevarer, der er omfattet af en harmoniseret europæisk standard, skal være CE-mærkede.

Standarder, der ikke er harmoniserede, er i princippet frivillige at følge, mens harmoniserede standarder skal følges.

De egenskaber, der er stillet krav til i produktstandarderne, bliver bestemt ved at anvende prøvningsmetoder, der også er beskrevet i standarderne.

På den måde kan brugerne tyde og sammenligne egenskaberne af forskellige produkter, fordi egenskaberne er bestemt ved at anvende de samme prøvningsmetoder.

GENEREL BETYDNING AF CE-MÆRKNING

Betonrør i dimensionerne op til DN1750 mm med styrkeklasse ≤ 165 samt betonbrønde ≤ 1250 mm er omfattet af en harmoniseret europæisk standard. Den type betonrør skal CE-mærkes. De fælles europæiske standarder for betonrør og brønde er indført i november 2004 og har følgende benævnelser:

DS/EN 1916

Betonrør og formstykker, uarmerede, armerede og med stålfibre.

DS/EN 1917

Betonnede gangs- og inspektionsbrønde, uarmerede, armerede og med stålfibre.

Der er desuden udarbejdet et nationalt tillæg til de europæiske standarder kaldet DS 2420 -1 og -2.

DS 2420-1

Betonrør og formstykker, uarmerede, armerede og med stålfibre - Supplement til DS/EN 1916.

DS 2420-2

Betonnede gangs- og inspektionsbrønde, uarmerede, armerede og med stålfibre, supplement til DS/EN 1917.

De danske standarder specificerer de kravniveauer, der ikke er mulighed for at deklarere i den europæiske standard. Desuden angiver standarderne de danske krav til de produkter, der ikke er dækket af de europæiske standarder. Det er fx vejbrønde og brønde med DN > 1250 mm samt DN > 1750 mm betonrør. CE-mærkning er det generelle europæiske overensstemmelsesmærke, som en fabrikant skal sætte på sin byggevare. Mærket viser, at byggevaren er i overensstemmelse med den deklarerede ydeevne, som vedrører produktet. Fabrikanten har ansvaret for, at byggevaren er i overensstemmelse med angivelserne i ydeevnedeklarationen.

YDEEVNEDEKLARATIONEN

Ydeevnedeklarationen (Declaration of Performance (DoP)) er det centrale dokument i forbindelse med CE-mærkning af et produkt. Dokumentet skal oplyse, "hvad byggevaren kan". Ydeevnedeklarationen er den eneste måde at deklarere væsentlige egenskaber på. Når en byggevare er omfattet af en harmoniseret standard, skal fabrikanten udarbejde en ydeevnedeklaration for byggevaren. Uden ydeevnedeklaration kan en byggevare ikke CE-mærkes og kan ikke lovligt sælges på markedet.

Ydeevnedeklarationen skal bl.a. indeholde den komplette liste over de væsentlige egenskaber, der i standarden er fastlagt som relevante for det pågældende produkt, og dets tiltænkte anvendelse.

Det er fabrikanten/importøren af produktet, der er ansvarlig for, at produktet CE-mærkes, og at der foreligger relevant dokumentation. Først og fremmest i form af en ydeevnedeklaration baseret på prøvningsrapporter af funktionen, samt et kvalitetsstyringssystem til sikring af, at der løbende produceres produkter, der er i overensstemmelse med den deklarerede ydeevne.

For betonrør og -brønde er der i henhold til produktstandarderne ikke krav om tredjepartskontrol af produkterne. Her må fabrikanten selv afprøve produkterne og udfærdige ydeevnedeklarationen. Brugere af betonrør og brønde i alle EU-lande skal betragte fabrikantens ydeevneerklæring (DoP) som nøjagtig og troværdig. Det betyder bl.a., at brugeren ikke må forlange anden dokumentation for ydeevnen end DoP'en.

SE MERE PÅ
www.Byggevareinfo.dk

FRIVILLIG TREDJEPARTS-OVERVÅGNING

De krav, som produkterne skal opfylde for at opnå CE-mærkning, dækker de fleste krav, der tidligere blev stillet i de danske standarder for betonrør- og brønde.

I Danmark har alle afløbsproducenter valgt frivilligt at lade sig kontrollere af en anerkendt kontrolinstans. De kontrolinstanser, der foretager kontrollen, også kaldet tredjepartsovervågningen, er Betonvarekontrollen og DANCERT.

Den europæiske lovgivning betyder, at det ikke er tilladt for offentlige bygherrer at stille krav om andre prøvningsmetoder og prøvningskrav end dem, der er angivet i standarderne og i DoP'en.

En offentlig bygherre kan heller ikke stille krav om, at et produkt skal være omfattet af en frivillig mærkningsordning.



DANCERT
TEKNOLOGISK INSTITUT

BVK og Dancert er to anerkendte kontrolinstanser til overvågning af rørproducenter.



Et CE-mærke viser, at produktet er i overensstemmelse med en harmoniseret europæisk standard.

SAMLINGER, RØR, BRØNDE OG BYGVÆRKER

Betonrør og betonbrønde bliver bl.a. brugt som afløbssystemer til håndtering af spilde- og regnvand. Derudover bliver de brugt til bygværker og som forsinkelsesbassiner til regnvand



FAKTA

- Rør leveres fra DN250 til DN2500 mm både som standardrør og som specialrør, der er forstærkede/armerede
- Standardbrønde og specialbrønde fra DN600 til DN3500 mm med faste eller tilpassede bundløb
- Sandfangsbrønde, målebrønde og specialbrønde
- Brøndringe og dæksler fra DN400 til DN3500 mm
- Bygværker er større betonkonstruktioner fx ved indløb til bassiner mv.

BETONRØR

Krav til betonrør med en dimension op til DN1750 er angivet i DS/EN 1916 og i DS 2420 -1.

De egenskaber, der bliver kontrolleret ved betonrør, er:

- Mål/geometri
- Tæthed
- Vandopsugning
- Styrke
- Holdbarhed

Betonrør til afløb fremstilles som mufferør. Der findes to betonrørssystemer på det danske marked, ig- og EURO-systemet:

- **Ig-rør**
Rør med istøbt gummiring
- **EURO-rør**
Rør der samles med en løs glidelamel-pakning

Ig-rør og EURO-rør bliver nærmest kun anvendt til hovedafløbsledninger og større stikledninger.

KRAV TIL RØR-SAMLINGERNE

Ifølge den europæiske standard for betonrør DS/EN 1916 skal en samling uden tab af tæthed ved et indvendigt tryk på 50 kPa kunne klare:

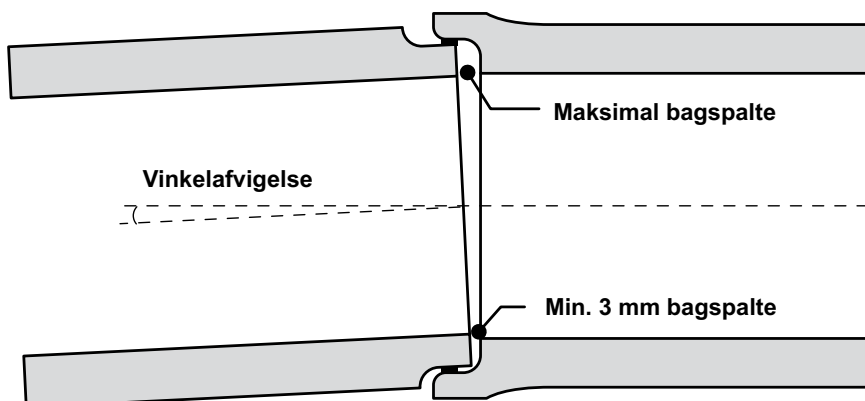
- Vinkeldrejning
- Tværaksial belastning
- En kombination af vinkeldrejning og tværaksial belastning

Fabrikanten deklarerer, hvilke egenskaber samlingerne har, og hvilken prøvemethode der er anvendt.

BAGSPALTER

Ved samling af betonrør opstår i begge systemer en bagspalte, som er nødvendig for at sikre samlingens fleksibilitet. I begge rørsystemer er bagspaltens maksimale størrelse deklareret.

Ved lægning af rørene er det vigtigt, at værdierne ikke overskrides, da det kan medføre utætte samlinger. Ved lægning af rør anbefales det at tilsigte så små bagspalter som muligt, dog min. 3 mm.



Ved samling af betonrør skal der være en bagspalte

GUMMIPAKNINGERNE

Både den faststøbte pakning og glidepakningen er lavet af syntetisk gummimateriale. Syntetisk gummi har lang levetid, men levetiden afhænger af indholdet af syrer, opløsningsmidler og andre kemikalier i afløbsvandet.

Ved de temperaturer, som normal forekommer i afløbsvandet og ved en sammensætning af afløbsvandet, som normalt forekommer i afløbssystemer, er pakningen lige så holdbar som rørmaterialet. Ved specielle forhold kan der leveres oliebestandige gummipakninger. Gummipakningerne er genanvendelige til andre typer af gummi-produkter, når rør efter endt levetid graves op. Der findes europæiske standarder for pakningsmaterialer.

KONTROL AF SPIDS- OG MUFFEENDE

Betonrørssamlinger produceres med meget små tolerancer. På muffe- og spidsende bliver der arbejdet med maksimale afvigelser fra det ideelle diameter mål på ca. 0,5 til 3 mm afhængigt af rørdimensionen.

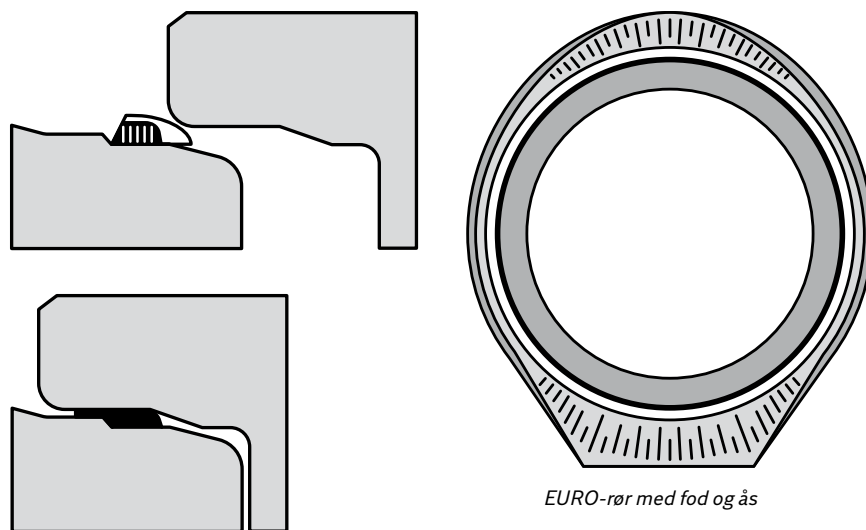
Fx er tolerancen på spidsendens diameter på et DN1600 mm rør kun 2,7 mm.

Kravene til tolerancerne stammer fra specifikke krav til kompressionen af de enkelte dele af pakningen. Derudover bliver det kontrolleret, at overfladeporerne på muffe- og spidsende ikke har en størrelse, hvor vand og trærodder kan trænge uden om pakningen. EURO-lamelpakning og ig-pakningens store tætningsbredde medfører kun en lille følsomhed overfor overfladeporer i betonen på muffe- og spidsende. (Se mere i kapitel 7).

RØRSYSTEMER

EURO-RØR

EURO-systemet omfatter dimensionerne fra DN250 til DN500 mm som cirkulære mufferør med længder fra 1250 til 2250 mm afhængigt af dimensionen. Fra DN600 mm fremstilles rørene som rør med fod og ås. Desuden omfatter systemet diverse formstykker som grenrør, dobbeltmuffe, dobbelt spidsende, bøjninger, reduktionsrør, endepropper m.v.



EURO-rør samles med løse glide-lamelpakninger

IG-RØR

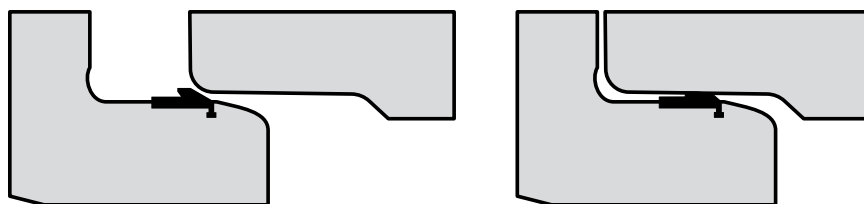
Ig-systemet omfatter dimensionerne fra DN250 mm til DN600 mm som cirkulære mufferør med længder fra 1250 mm til 2250 mm afhængigt af dimension. Fra DN700 til DN 1600 mm bliver rørene fremstillet som mufferør med fod.

Nogle fabrikker laver mufferør med fod allerede fra DN 500 til DN 600 mm. Det vil sige, at i dimensionerne DN 500 mm og DN 600 mm findes rørene både som cirkulære rør og rør med fod, afhængigt af den enkelte producent. Store dimensioner (DN1800 - DN2500 mm) fremstilles som cirkulære rør. Desuden omfatter systemet diverse formstykker som grenrør, pasrør, bøjninger, reduktionsrør, dobbeltspidsenderør og endepropper.

Ig-rør har en fastsiddende, istøbt gummiring med et specielt udviklet tværsnit.

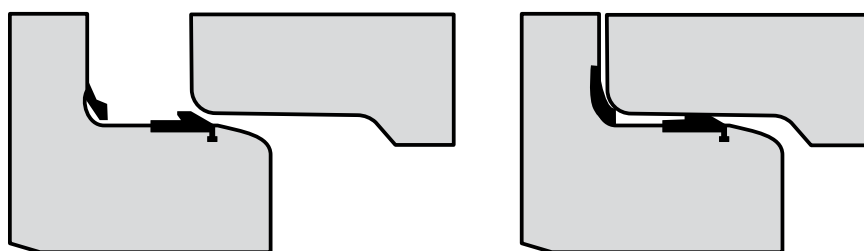
Et eksempel på en ig-samling er vist nedenunder med **figur A**. Nogle rør er fremstillet med gummiindlæg faststøbt i muffebunden, som **figur B** viser.

FIGUR A



Samling af ig-rør med en faststøbt gummiring

FIGUR B



Samling af ig-rør med en faststøbt gummiring, og med gummiindlæg i muffebunden

BRØNDE

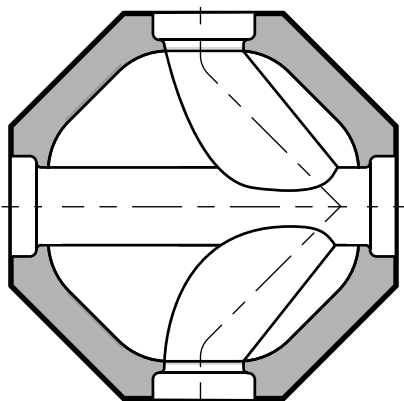
Krav til betonbrønde i dimensionen DN600 – DN1250 mm er angivet i DS/EN 1917 – "Betonnedgangs- og inspektionsbrønde, uarmerede, armerede og med stålfibre", samt i DS 2420-2, som også angiver kravene til de produkter, der ikke er dækket af DS/EN 1917 fx nedløbsbrønde og brønde større end DN1250

I dag benytter man to typer brøndbunde: Systembrøndbunde og specialbrøndbunde. Systembrøndbunde er præfabrikerede standardbrøndbunde med et vist antal side- og hovedløb i bestemte vinkler. Specialbrøndbunde er brøndbunde, der er skræddersyede til de enkelte opgaver.

For betonbrøndene findes der et stort udvalg af brøndbunde, ringe, kegler, topringe samt andet tilbehør og udstyr. Det giver en stor fleksibilitet i marken. Udviklingen er gået i retning af højere brøndelementer, man kan fx få ø1250 brøndringe op til to meters højde. Det giver særdeles stærke brøndelementer og færre samlinger.

SYSTEMBRØNDBUNDE

Systembrøndbunde er standardlagervarer. Det betyder lavere pris og ingen leveringstid. Brøndene leveres med direkte tilslutning for DN250 til DN600 mm betonrør. Brøndene kan også leveres med direkte tilslutning af plastrør i de mindre dimensioner, så man undgår dyre overgange.



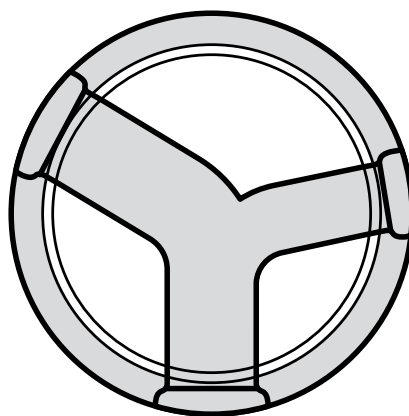
Eksempel på systembrøndbunde. Systembrøndbunde er en god og økonomisk løsning, når de passer ind i ledningsnettet

Hydraulisk set er bundløbene udformet, så man opnår en god strømning igennem brønden. Uudnyttede tilløb skal lukkes med rørpropper for ikke at risikere utætheder, og de tilsvarende bundløb støbes til for at sikre de gode strømningsforhold. Systembrøndbundene benyttes hovedsageligt, hvor ind- og udløbsdimensioner, vinkler, mv. passer til det projekterede kloaknet.

SPECIALBRØNDBUNDE

Specialbrøndbunde benyttes i langt de fleste tilfælde og altid, hvor en systembrønd ikke passer ind i ledningsnettet.

Den individuelle opbygning med forskellige tilslutninger og placeringer er den kritiske faktor i fremstillingen af brøndbunde. Det er muligt industrielt at fremstille en brønd med helstøbt banket - præcist efter kundens ønsker. Derved opnås en sammenhængende homogen konstruktion uden fuger eller støbeskel.



Specialbrøndbund. Mulighed for vilkårlig vinkeldrejning for tilslutninger til alle rørtyper sikrer rørstrækninger uden bøjninger

Specialbrøndbunde kan leveres i DN600 til DN2000 mm og med:

- Vilkårligt fald på bundløb eller banket
- Tilslutninger i vilkårlige koter og med vilkårlige vinkeldrejninger
- Tilslutning af vilkårlige rør-dimensioner og -typer
- Sandfang

Dette medfører stor fleksibilitet, ingen dyre overgange og ingen bøjninger på selve ledningssystemet. Man er desuden sikret nøjagtig det antal sidetilløb, der er behov for.

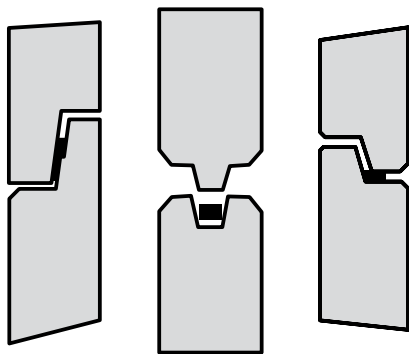
KUN RETNINGSÆNDRING I BRØNDE

Mange forsyninger ønsker, at der ikke anvendes bøjninger på ledningsstrækningen mellem to brønde. Dette skyldes bl.a., at lige rørstrækninger mellem brønde har gode rense- og inspektionsmæssige egenskaber. Derudover er antallet af samlinger begrænset. Specialbrøndbunde har også en hydraulisk set optimal udformning pga. de strømlinede bundløb. Kombinationen af specialbrønde og lige rørstrækninger reducerer risikoen for aflejringer og tilstopninger såvel i brøndene som i rørene. Det er med til at sikre en problemfri drift af ledningsnettet. Lige rørstrækninger er desuden en fordel i de tilfælde, hvor der i anlægsfasen benyttes laser ved lægning af rørene.

KRAV TIL BRØNDSAMLINGER

Krav til samlingerne i brønde

Kravene til brøndsamlinger i DS/EN 1917 er, at brønde uden vinkeldrejninger eller belastning skal være tætte ved et indvendigt vandtryk på 50 kPa.

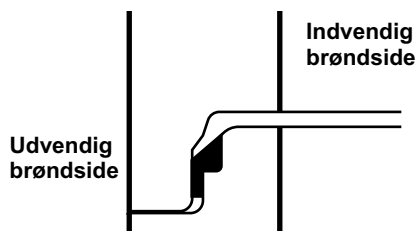


Tre eksempler på brøndsamlinger fra DS/EN 1917

I DS/EN 1917 angives der tre eksempler på brøndsamlinger.

Brønde med en dimension under DN600 mm og over DN1250 mm skal opfylde kravene i DS 2420-2.

I figuren er vist den samling, der anvendes både i ig-brønde og i EURO-brønde.



En glideringssamling, som den ser ud i ig- og EURO-systemet

ROBUSTE BETONBRØNDE

De moderne betonbrønde og gummipakninger har ligesom betonrør lang levetid. Det vil sige en levetid på over 100 år i afløbssystemer med normalt forekommende spildevand.

Betonbrønde har en fordelagtig egenvægt, er robuste og stive.

Det indebærer, at det er let at opnå en god komprimering af omkringfyldningen. Dermed er der mindre risiko for sætning af såvel brønden som den eventuelle overliggende vej.

Betonbrøndenes robust- og stivhed indebærer ligeledes, at de opgravede materialer i de fleste tilfælde kan genbruges til omkringfyldning, da der normalt kan tillades stenstørrelser op til 64 mm. Det giver både økonomiske og miljømæssige fordele. I henhold til "Norm for etablering af ledningsanlæg i jord", DS 475, opnås den bedste retablering i befæstede arealer, hvis det opgravede materiale genbruges.

Betonbrøndens egenvægt er en fordel, når der optræder grundvandstryk på brønden, da man sjældent risikerer, at brønden hæves pga. opdriften. Alle brønddele har indstøbte løftebolte, der sikrer let håndtering ved monteringsarbejdet.

NYE TILSLUTNINGER

Det er let at påbore og tilslutte nye stik på betonbrøndringe, og der kan tilsluttes såvel beton- som plastrør, uden brug af overgange.

BYGVÆRKER

Bygværker kan være store specialbrønde, indløbskonstruktioner til rørbassiner eller lignende. Bygværker fremstilles på fabrikken efter tegning, hvor fald, koter til ind- og udløb, dimensioner på ind- og udløb mv. skal være angivet

Der vil ofte være en tidsmæssig gevinst ved at få et bygværk støbt på en fabrik, frem for at støbe det på stedet.

Bygværker er specialproduktion, så der vil være leveringstid. Store bygværker kan veje op til 25 ton, så det er vigtigt at planlægge transport og sætning af bygværket, så det samme løftegrej kan anvendes.



Eksempler på et betonbygværk produceret på fabrik

BETONRØRS VANDFØRINGS- OG SELVRENSNINGSEVNE

Et afløbssystems opgave er at lede spildevandet til rensningsanlæg eller for regnvandsledninger vedkommende til vandløb, søer eller havet

Evnen til at lede spildevandet

Evnen til at lede spildevandet afhænger af systemets hydrauliske egenskaber nærmere betegnet vandførings- og selvrensningsevnen

DRIFTSRUHEDER

Der er lavet adskillige undersøgelser af afløbsledningers vandføringsevne – altså de hydrauliske egenskaber.

Det er her vigtigt at skelne i mellem:

- Laboratorieundersøgelser
- Feltundersøgelse

Laboratorieundersøgelserne foretages oftest med rent vand og nye rør, mens feltundersøgelserne foretages på afløbsledninger, der er i brug.

Laboratorieundersøgelserne giver meget præcise resultater med hensyn til vandføring, ruhed osv. Til gengæld modsvarer de ikke de virkelige forhold. Feltundersøgelserne foretages på afløbsledninger, der er i brug. De bygger således på de virkelige forhold, men der er flere udfordringer i at få tilstrækkelig præcise målinger.

RØRMATERIALETS OVERFLADE

Rørmaterialets overflade har betydning for vandføringsevnen. Generelt betyder en fordobling af ruheden, at vandførings- evnen forringes med ca. 10 %



Rørmaterialets overflade har betydning for vandføringsevnen

Rør af forskellige materialer, som glaseret ler, glasfiberarmeret polyester, plast, korrigeret stålør og beton har ikke samme ruhed. Vægruhed er ikke så væsentlig, fordi virkeligheden i et afløbssystem er meget forskellig fra en laboratorieopstilling. I et afløbssystem har opbygningen af systemet langt større indflydelse.

” En smålig diskussion om ruheden af forskellige rørmaterialer er ørkesløs. I rørledninger vil der i praksis altid indstille sig en ruhed, som især er afhængig af driftsbetingelserne og som tidsmæssigt forandrer sig og vil ligge over begyndelsesværdien af ruheden. Rørmaterialers naturlige ruhed kan på ingen måde gælde for et bestemt rørs ruhed. Andre faktorer - hydrauliske, spildevandstekniske og lægnings- tekniske - er dominerende.

- MANFRED SAUERBREY, TYSK FORSKER

I et afløbssystem er der indsat brønde, der kan være aflejringer og lunger i systemet, deformationer, kloakhud, (se afsnit om kloakhud, side 15) påboringer, der rager ind i ledningen mv. Alt dette medfører, at man i praksis regner med en driftsruhed, som er større end den teoretiske vægruhed målt i et laboratorium.

DIMENSIONERING

DIMENSIONERING AF NYE ANLÆG

Ved dimensionering af nye anlæg anvendes der som regel regnskyl med en gentagelsesperiode på et eller to år som dimensionsgivende regnskyl.

Ved dimensionering af betonrør anvendes diagrammer baseret på en ledningsruhed på 1 mm, mens man ved dimensionering af plastledninger anvender diagrammer baseret på en ledningsruhed på 0,25 mm.

Når man efter dimensionering af større systemer skal vurdere, om ledningssystemet kan håndtere en 10 års regn, så anvendes der computermødelier, hvor driftsruheden er ens for de to systemer. Baggrunden er, at det er systemets opbygning og ikke materialets ruhed, der har betydning for vandføringsevnen. Da der er mange faktorer, der spiller ind, anvendes ofte et konservativt valg af driftsruhed. Typisk sættes driftsruheden til 1,0-1,5 mm uafhængigt af rørtype.

Det skal understreges, at driftsruheden kan være meget mindre i nye veludførte systemer og meget større i gamle systemer i dårlig stand.

FAKTORER DER HAR INDFLYDELSE PÅ DRIFTSRUHEDEN

RETLINEDE LEDNINGSSTRÆKNINGER

Et stift, stærkt rør mærker ikke mindre forskelle i udjævningslagets planhed og variationer i underlagets stivhed. Det gør det lettere at lægge en afløbsledning uden lunger og med ensartet fald.

Et forholdsvis tungt rør som betonrøret løftes eller sideforskydes sjældent pga. komprimeringen. Betonrøret ligger stabilt i rørgraven, hvilket modvirker lunger skabt under komprimeringen. Deformationer er ikke noget problem for betonrør, da de er formfaste.

SAMLINGER HAR MINDRE INDFLYDELSE PÅ HYDRAULIKKEN

Laboratorieundersøgelser har vist, at i en korrekt samlet ledning har antallet af samlinger kun en lille indflydelse på driftsruheden. Dårlige samlinger kan dog have indflydelse på driftsruheden.

Med dårlige samlinger menes forskudte samlinger, samlinger med store bagspalter eller indhængende gummiringe. Med tiden vil eventuelle store bagspalter dog ofte blive fyldt med diverse aflejringer, og indflydelsen af fejlen vil blive reduceret. I nye betonledninger findes forskudte samlinger samt indhængende gummiringe ikke. Ved en korrekt udførelse undgås for store bagspalter.

INGEN INDRAGENDE DELE

Da betonrør har en stor godstykkelse, kan man uden problemer påbore stikledninger uden indragende dele. Dette er meget vigtigt, da indragende dele vil forringe ledningens hydrauliske egenskaber.



KLOAKHUD

Når afløbsledninger, af såvel beton som plast, har været i drift i et stykke tid, bliver der opbygget et tyndt lag af organisk materiale på rørvæggen, en såkaldt biofilm også kaldet kloakhud.

Denne biofilm er mest fremtrædende i spildevandsledninger, men opstår også i regnvandsledninger. Biofilmen vil hovedsageligt optræde på det normalt beskyllede areal. I de mikroorganismer, som biofilmen består af, foregår der diverse processer, og det er bl.a. her, der udvikles svovlbrinte under anerobe forhold (ingen ilt). Biofilmens tykkelse er normalt 1-3 mm afhængigt af vandets hastighed. Det bevirker, at vandet kun er i berøring med biofilmen og ikke selve røroverfladen. Dette lag burde medføre, at vægruheden bliver mindre. Undersøgelser viser imidlertid, at ruheden stiger, efterhånden som biofilmen vokser, fordi diameteren så bliver mindre.

BRØNDE

Energitabet i brønde vil normalt være stort. Det er derfor vigtigt at sørge for en hydraulisk korrekt udformning af brøndbundene, så indflydelsen af elementerne mindskes. Det vil sige, at bundløbene skal være strømlinede, og at banketterne skal være høje.

Bundløbene i betonbrønde er strømlinede og har høje banketter. Derudover har bundløbene en jævn overflade. Ved at benytte specialbrøndbunde, der er skræddersyede til opgaven, undgår man bøjninger og overgange. Det betyder, at betonbrønde er udformet med henblik på at minimere den forholdsvis store enkeltmodstand, som brønde udgør i et ledningssystem.

SELVRENSNINGSEVNEN

Et vigtigt funktionskrav til en afløbsledning er, at faste urenheder ikke må synke til bunds og aflejres permanent, så der opstår tilstopning eller lugtgener. Dette opnås normalt ved at lægge ledningerne med et sådant fald (minimumsfald), at vandhastigheden med jævne mellemrum bliver tilstrækkelig stor til at transportere de faste urenheder gennem ledningssystemet.

Er en ledning ikke tilstrækkelig selvrensende, vil det ofte først blive opdaget når, "ulykken" er sket, og der står vand op i kældrene, eller andre gener viser sig.

KRITERIER FOR SELVRENSNING

Krav til vandhastigheden har traditionelt været og er stadig udbredt som dimensioneringsparameter for selvrensning. For spildevandsledninger antages en hastighed på 0,6-0,75 m/s opnået med tilstrækkelig hyppighed som selvrensningskriterie. Størrelsen er dog mindre anvendelig, da den samme hastighed for forskellige fyldningsgrader svarer til forskellige transportevne for bundmaterialet.

Det mest korrekte er at benytte størrelsen af forskydningsspændingen mellem rørvæg og vand som kriterium for selvrensning. Forskydningsspændingen er et udtryk for vandets transportevne. For at kunne antage, at en afløbs-

ledning er selvrensende, kræves det at forskydningsspændingen kommer over en vis værdi - en kritisk værdi, kaldet kritisk bundforskydningsspænding.

Ledningsfaldet skal være så stort, at forskydningsspændingen mindst bliver som angivet, hvorved ledningen bliver selvrensende:

Erfaringer fra udlandet tyder på, at forskydningsspændinger på 2 Pa for spildevandsledninger og 3-4 Pa for regnvands- og fællesledninger er rimelige værdier at bruge som dimensioneringskriterier. Værdier gælder uanset rørmateriale. For plastrør benyttes 10 % lavere værdier. Disse bør dog kun benyttes, hvis man er sikker på en meget omhyggelig udførelse af ledningsnettet.

Afløbsledninger indenfor skel er omfattet af Bygningsreglementet. Her angiver DS 432 "Norm for afløbsinstallationer" (der er en vejledning i, hvordan bygningsreglementets krav kan opfyldes), at forskydningsspændingen skal sættes til 2,5 Pa for spildevandsledninger og 1,5 Pa for regnvands- og fællesledninger. Det er modsat de værdier, man har erfaringer for i hovedledninger. I DS 432 findes kurver til beregning af minimumsfald for forskellige vandføringer i små ledningssystemer.

I hovedledninger er det omstændeligt at beregne forskydningsspændinger og minimumsfald. Hvis man forudsætter cirkulære afløbsledninger og normale fyldningsforhold, så findes der en tilnærmet formel, som anvendes i Danmark for spildevands- og fællesledninger.

$$I_{\text{MIN}} = \frac{10}{\sqrt{Q}} \quad Q \geq 1 \text{ l/s}$$

Minimumsfald (%) Spildevandsstrømmen (l/s)

Da spildevandsstrømmen varierer fra døgnet til døgnet igennem året, skal det vurderes, hvor tit ledningen skal skylles ren, og den vandføring skal benyttes ved beregning af minimumsfaldet.

For regnvandsledninger anvender man i praksis vandhastigheden. Vandhastigheden ved fuldtløbende ledning skal være mindst 1 m/s. Det medfører, at vandets hastighed bliver mindst 0,6 m/s allerede ved en vandføring, der er 1/7 af største vandføring.

Selvrensningsevnen, udtrykt ved hjælp af forskydningsspændingen mellem rørvæggen og afløbsstrømmen, beregnes ved hjælp af formlen:

$$\tau = \gamma R \cdot I$$

Forskydnings-spændingen (Pa) Vandets specifikke tyngde (N/m³) Ledningens hydrauliske radius ved en afløbsstrøm q (m³/s) Energiiniens hældning/gradient (m/m)

FORHOLD DER PÅVIRKER SELVRENSNINGSEVNEN

Selvrensningsevnen kan forringes af en lang række forhold, fordi der er en tæt sammenhæng mellem transportevne og ledningens kvalitet

I praksis kan følgende forhold give problemer med selvrensningsevnen:

- Lunker og ujævnt fald
- Mindre vandmængder end forudsat. Dette kan bl.a. være aktuelt i spildevandsledninger på grund af de mange vandbesparende foranstaltninger, der etableres
- Reduktioner af tværsnittet, fx deformationer og indragende dele

Lunker er ofte hovedårsag til selvrensningsproblemer i en ledning. Desuden kan de forhindringer, der reducerer tværsnittet, ofte give problemer.

SAMLINGER MELLEM RØR

De moderne betonrørssamlinger har kun minimal indflydelse på vandføring og selvrensning. Samlingerne er konstrueret, så der ikke kan opstå sideforskydning, og der kun er lav risiko for, at gummiringene fejlmonteres. Bagspalten bliver hurtig fyldt op med diverse aflejringer. Resultatet er en tilnærmelsesvis homogen ledning, hvor vandet ikke "mærker" samlingerne. Ved lægning skal det dog kontrolleres, at bagspalterne er af en passende størrelse. Se rørlieferandørens ydeevnedeklaration.

Specialbrønde, der er "skræddersyet" til det enkelte projekt, giver mulighed for at etablere et afløbsnet uden bøjninger og overgange og dermed en optimal selvrensningsevne.

REDUKTIONER AF TVÆRSNITTET

De anlægstekniske forhold har altafgørende indflydelse på selvrensningsevnen. Alle forhold, der kan reducere tværsnittet, skal undgås. Eksempelvis deformationer og dårlige stiktilslutninger. Desuden skal mængden og størrelsen af lunke og ujævnt fald minimeres.

Ved at benytte betonrør kan problemerne minimeres, bl.a. på grund af betonrørens gode egenskaber som:

- Stor egenstyrke
- Retlinet rørstamme
- Stor godstykkelse
- Formfast rør
- God stabilitet i rørgraven
- Tilslutninger/påboringer, hvor stikket ikke rager ind

IKKE-SELVRENSENDE LEDNINGER

Nogle ledningsstrækninger projekteres, så de ikke er selvrensende. Det gøres for at undgå store lægningsdybder eller pumpestationer. Det forudsætter, at der spules et vist antal gange pr. år for at holde ledningen ren. I den forbindelse skal det kontrolleres, at de benyttede rør kan modstå det spuletryk, der anvendes.

I Danmark benyttes typisk tryk på 120-150 bar. Betonrør tåler disse tryk og er desuden modstandsdygtige over for kraftige slag fra slyngende spulehoveder.

LÆGNING AF BETONRØR



I DANMARK FINDES DER TO NORMER, SOM FASTSÆTTER KRAVENE TIL LÆGNING AF BETONRØR

1 Norm for etablering af ledningsanlæg i jord, DS 475: 2012, som angiver generelle krav til lægning af alle typer ledninger ved lægning i befæstede arealer.

2 Norm for lægning af stive ledninger af beton mv. i jord, DS 437.1986, som beskriver de grundlæggende krav til lægning af betonrør i ubefæstede arealer, og desuden giver regler for beregning af lægningsdybder.

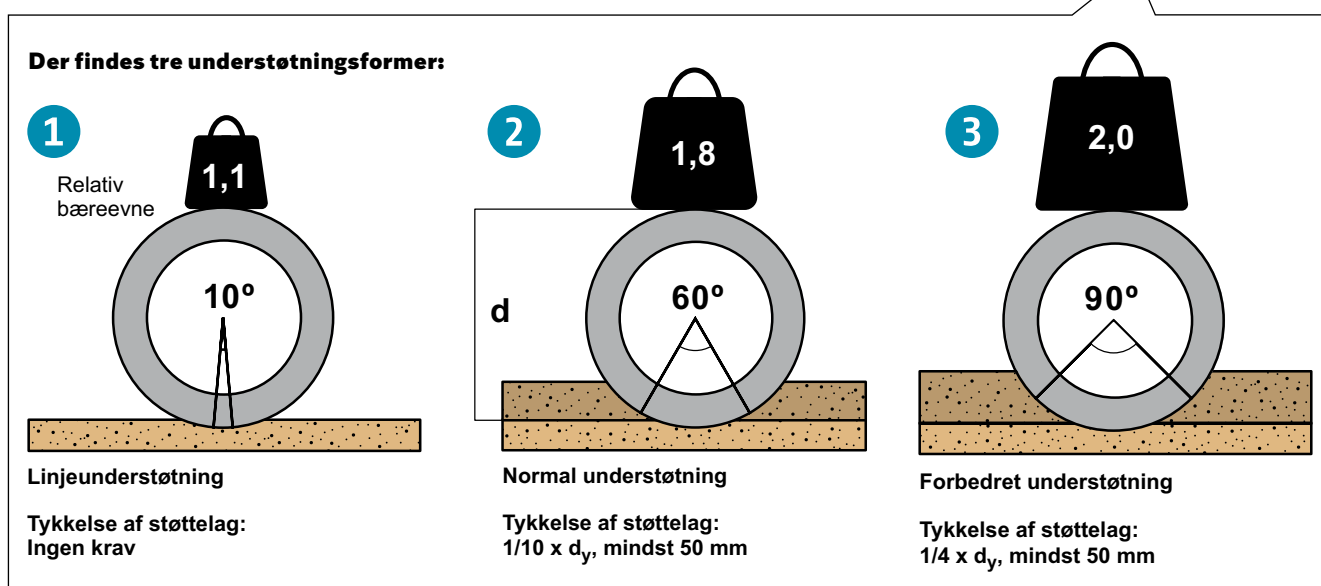
Udgravninger til ledningsarbejder skal følge Arbejdstilsynets retningslinjer for udgravning og afstivning.

BÆREEVNE

RØRENES BÆREEVNE

Et rørs beregningsmæssige bæreevne i jord er bestemt af følgende tre forhold:

- A Rørets egenstyrke**
Egenstyrken afhænger af rørets dimensioner (diameter og godstykkelse) og af betonens kvalitet. Forholdene vil fremgå af rørproducenternes deklarationer.
- B Kontrolniveauet**
Kontrolniveauet fastlægges på baggrund af lægningsforholdene, og hvor dyrt eller besværligt det senere vil være at foretage udbedringer af ledningsanlægget. Kontrolniveauet fastlægges som lempet, normal eller skærpet. Det har betydning for, hvor meget lægnin-gen af ledninger kontrolleres.
- C Understøtningen**
Alle rør skal placeres på et udjævningslag af en vis tykkelse. Røret skal understøttes ensartet i hele rørkroppens længde. Ved cirkulære rør skal der desuden udgraves for muffer, og der skal etableres et støttelag, som har væsentlig betydning for ledningens bæreevne.



LÆGNINGSDYBDER

Den tilladte lægningsdybde for et rør bestemmes ved, at rørets bæreevne mindst skal være lig med belastningen på røret. Både bæreevne og laster ganges med en partialkoefficient, så der indbygges en vis sikkerhed i beregningen.

De største tilladte lægningsdybder fremgår af rørproducenternes kataloger. Det fremgår, at cirkulære rør under normale omstændigheder har tilladte lægningsdybder (dybder til bundløb) på mindst fem meter og rør med fod på omkring seks meter. Mindste jorddækning over ledningstop, hvis der forekommer trafiklast, er for uarmerede rør 0,6 meter og for godsforstærkede eller armerede rør 0,4 meter.

LEDNINGSGRAVENS OPBYGNING

Ledningsgravens opbygning fremgår af figuren nedenfor. Gravens nederste del kaldes ledningszonen og er opbygget af udjævningslaget. For cirkulære rør er der desuden et støttelag og omkringfyldningen skal strække sig mindst 100 mm over rørtoppen. Øverst afsluttes med tilfyldningen, hvorover der kan være en befæstelse. Krav til materialer og komprimering af ledningszonen er fastsat i lægningsnormerne eller af bygherren.

BELASTNINGEN PÅ RØRET

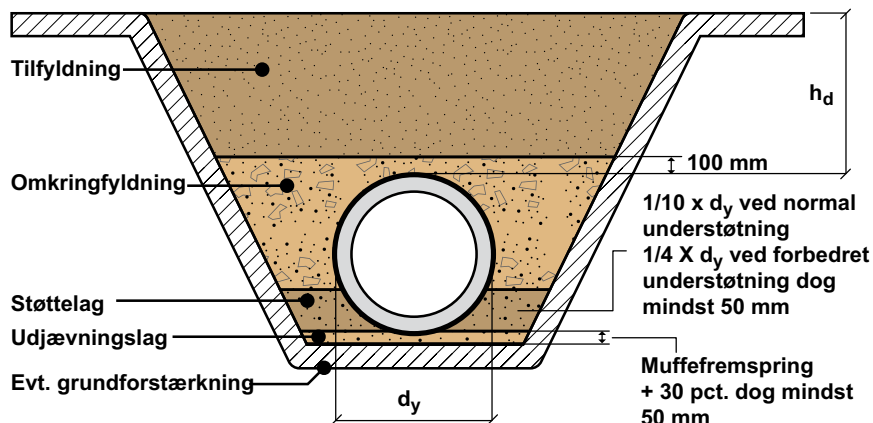
Den belastning, som røret påvirkes af, afhænger af følgende forhold:

Den permanente last:

- Jordlasten, hvor man normalt forudsætter rumvægten til at være 21 kN/m³
- Egenlasten af røret

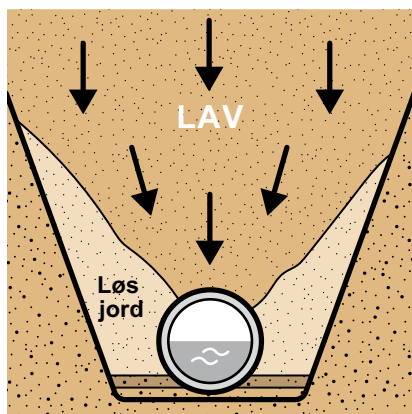
Den variable last:

- Trafiklast fra veje eller jernbanespor
- Last fra ydre eller indre vandtryk

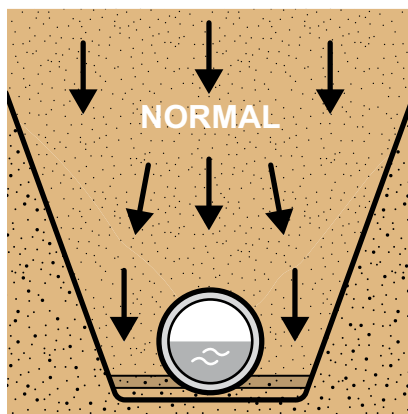


LÆGNINGSKLASSER

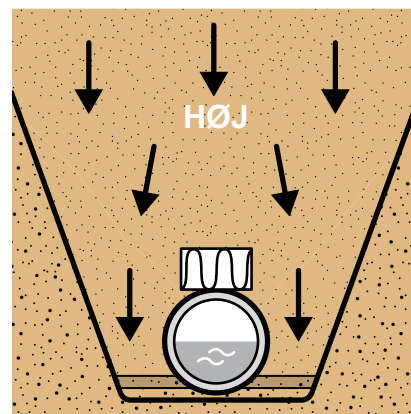
Belastningen på det færdige ledningsanlæg afhænger af den omhu, som fyldet omkring røret og i en vis højde over røret, er udført med. Lægningsklassen har derfor stor betydning for belastningen på det færdige anlæg.



Hvis jorden omkring røret ikke komprimeres, skal røret bære hele vægten af jorden i rørgraven, idet den løse jord på rørets side intet kan bære, og da der ikke er etableret nogen friktion op til rørgravens sider.



Når jorden omkring røret mindst er komprimeret som det ovenliggende, reduceres lasten på røret, idet jorden på rørets sider vil bære en del af lasten, og da der desuden er etableret en friktion op til rørgravens sider.



Ved at lægge en isoleringsmåtte eller komprimere lettere over rørledningen nedsættes belastningen på røret med godt 10 %, idet jorden over røret ikke belaster det.

I **lav lægningsklasse** stilles der ingen krav til fyldet omkring ledningen og til komprimeringen omkring og over røret. Røret skal derfor kunne bære hele jordlasten i rørgraven. Lav lægningsklasse benyttes typisk i ubefæstede arealer.

I **normal lægningsklasse** skal omkringfyldningen være komprimeret til samme stivhed som tilfyldningen, dog mindst 91 % standard proctor for sand- og grusfyld. På grund af den friktion, som herved etableres op til gravens sider, og fordi jorden på rørets sider vil bære en del af lasten, bliver røret kun udsat for en belastning svarende til 1,6 gange lasten fra jorden i den lodrette zone direkte over røret. Belastningen på det færdige ledningsanlæg afhænger af den omhu, som fyldet omkring røret og i en vis højde over røret, er udført med.

I **høj lægningsklasse** stilles der høje krav til både udgravningen og komprimeringen omkring ledningen. Der er krav til en bedre komprimering omkring røret end over røret. Aflastning af selve røret kan også opnås ved at lægge et eftergivende lag, fx en isoleringsmåtte direkte over rørledningen, så belastningen på røret nedsættes (med godt 10 %). Lægningsmåden bør kun udnyttes i de tilfælde, hvor man ønsker at nedsætte belastningen på røret for at opnå en lidt større lægningsdybde. Derudover bør den ikke benyttes under vejarealer på grund af faren for sætninger.

KRAV TIL MATERIALER

KRAV TIL MATERIALER I LEDNINGSZONEN

Normalt skal materialerne, som benyttes i ledningszonen, være af en sådan art, at komprimeringen kan udføres som foreskrevet. Materialerne må ikke være frosne eller indeholde skadelige mængder af planterester, muld, ler- eller siltklumper. (Se figur side 19). Derudover må materialerne i såvel støttelag som omkringfyldning ikke indeholde stoffer, der er aggressive over for beton.

Etablering af støttelag

Som nævnt er det vigtigt for rørets bæreevne, at der etableres et støttelag. Støttelaget etableres i praksis i fire trin:

1. Rørets egenvægt medfører, at det synker en anelse ned i udjævningslag. Det giver ca. 10 graders understøtning, som kan forstærkes ved at trykke let på røret med gravemaskinens skovl
2. Ved fodtramp eller ved brug af en håndstamper komprimeres støttelaget ind under røret
3. Ved komprimeringen af omkringfylden opnås en yderligere komprimering af støttelaget
4. Ved komprimering over røret synker det en anelse ned i støtte- og udjævningslaget, som giver den sidste komprimering

KRAV TIL MATERIALERNE I UDJÆVNINGS- OG STØTTELAGET

Ubefæstede arealer

I ubefæstede arealer er kravene til materialer i udjævnings- og støttelag:

- Kornstørrelse over 32 mm må ikke forekomme
- Indholdet af korn mellem 16 og 32 mm må højst være 10 %
- Materialet må ikke være frossen

Til omkringfyldningsmaterialer er kravet:

- Kornstørrelse over 64 mm må ikke forekomme.

Befæstede arealer

I befæstede arealer er kravene til alle materialer i ledningszonen:

- Kornstørrelse over 8 mm må ikke forekomme
- Indholdet af korn under 0,062 mm må højst være 7 %
- Materialet må ikke være frossent

Til materialer til støttelag og omkringfyldning kræves desuden:

- Uensformighedstallet U er mindre end 3

Disse skærpede krav i befæstede arealer, som er anført i DS 475, skyldes et ønske om, at der ikke må ske sætninger i ledningsgraven og i befæstelsen. Materialerne er næsten "selvkomprimerende".

Opgravede materialer bør genbruges i størst muligt omfang. Forudsætningen er, at de kan komprimeres forsvarligt. For betonrør må der benyttes tungt komprimeringsmateriel til komprimering over centerniveau. Det gør det lettere at opnå den krævede komprimering. Det giver mulighed for nemmere at genbruge opgravet materiale omkring betonrør. Når der kan komprimeres med tungt materiel, kan kravene til maksimal kornstørrelse og uensformighedstal fraviges. Dog må stenstørrelser over 64 mm ikke forekomme.

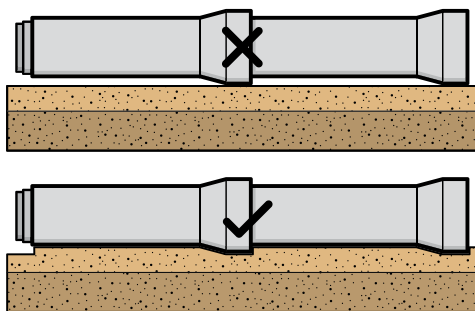
Også under centerniveau kan materialekravene fraviges, hvis der kan komprimeres effektivt.

For cirkulære rør er det dog et krav, at støttelaget har en tykkelse svarende til en forbedret understøtning.

Hvis den eksisterende jord består af sand- eller grus, er den velegnet til genbrug. Omkringfyldning med moræner kan måske anvendes, men kræver en mere effektiv komprimering. Komprimering af sand- og grusmaterialer kan alternativt ske udelukkende ved vanding, hvis vandet kan bortledes i ledningsgraven.

LÆGNING AF RØR

Ledningsgraven gøres så smal som muligt, men der skal være tilstrækkelig plads til, at komprimering af omkring- og tilfyldningen kan foregå. Lægningen og understøtningen af cirkulære rør skal udføres, så røret er understøttet på hele rørkroppen. For mufferør gælder, at mufferne ikke må bære røret. Derfor skal der udgraves muffehuller.



Muffehuller sikrer, at det er rørkroppen, der bærer vægten

KOMPRIMERINGSKRAV

Som nævnt fastsætter både lægningsnormerne og de enkelte forsynings-selskaber krav til komprimeringen. I ubefæstede arealer fastsættes kravene af lægningsnormerne alene. I lav lægningsklasse er der ingen krav. I normal lægningsklasse er kravet min. 91 % standard proctor for sand- og grusfyld og 93 % standard proctor for lerfyld.

Komprimeringskontrol

Kontrollen af komprimeringen i rørgraven foretages for det meste ved at undersøge komprimeringsgraden. Det vil sige, at materialets tørdensitet måles i rørgraven i forhold til den tørdensitet, der kan opnås ved et standardiseret forsøg. Tørdensiteten i rørgraven fastlægges for det meste ved hjælp af isotopmetoden. Ved isotopmetoden fastlægges materialets våddensitet samt vandindhold i

rørgraven. Herefter udregnes tørdensiteten. Densiteten sammenlignes med den tørdensitet, der opnås i laboratoriet ved en standardiseret komprimering af det samme materiale. For det meste benyttes standard proctorforsøget (SP) til denne komprimering. En komprimeringsgrad på fx 98 % SP betyder således, at materialets tørdensitet er 98 % af den densitet, der opnås ved standard proctorforsøget.

Potentielle fejlkilder

De største problemer i forbindelse med komprimeringskontrollen opstår i forbindelse med fastlæggelsen af tørdensiteten i rørgraven. Isotopmetoden er rimelig præcis. Man kan normalt regne med, at afvigelse ikke er større end 50 kg/m³. Der er dog flere potentielle fejlkilder. Bl.a. skal man være opmærksom på de

refleksioner, der kan forekomme, når man måler tæt på fx et rør. Det kan specielt give problemer at måle i nærheden af plastrør. Det skyldes, at man ved at måle vandindholdet faktisk måler brintindholdet, og da plast indeholder brint, kan der opstå fejl. Problemet er det samme med plast, også hvis der fx ligger en cigaretpakning i nærheden. De bedste resultater opnås, når der måles på et homogent materiale. I den forbindelse er fx stabilgrus tilstrækkeligt homogent. Det er altså flere potentielle fejlkilder, men udføres målingerne af en person med tilstrækkelig viden og erfaring med isotopmetoden, opnår man gode resultater. Ved isotopmetoden er det ikke muligt at kontrollere støttelegets komprimering.

SÆTNING AF BRØNDE

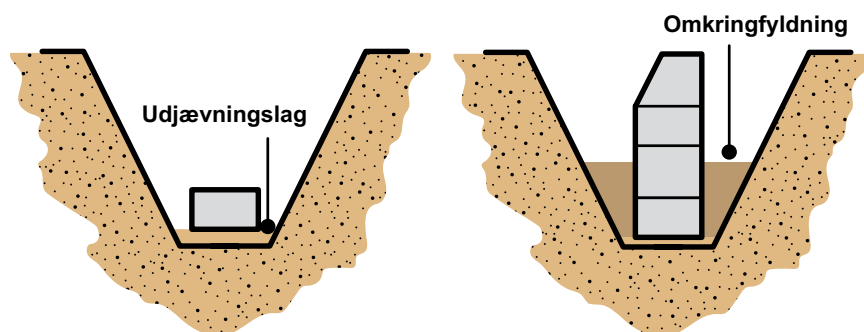
Sætning af brønde skal følge de samme retningslinjer, som er angivet for lægning af ledninger. Udgravningen skal gøres så smal som mulig, men dog så bred, at der kan komprimeres rundt om brønden. Under brønden udlægges et udjævningslag, der skal udlægges og komprimeres, så det er helt plant. Selv små unøjagtigheder giver store afvigelser fra lodret i toppen af brønden. Materialekravene er de samme krav, som er gældende for lægning af rør.

Krav til det færdige anlæg

Det skal kontrolleres, at det færdige anlæg er udført som projekteret. Det gøres dels ved kontrol under arbejdets udførelse dels som en slutkontrol, der ofte er en indmåling af systemet i plan

og højde, en TV-inspektion og evt. en tæthedsprøvning. Ledningens placering i sideretningen må ikke afvige mere end 0,2 m fra placeringen ifølge projektet. I

dybden må afvigelsen højst være 0,03 m. Desuden er der retningslinje for, hvor meget faldet må afvige fra det projekterede.



Brønde skal sættes på et udjævningslag, og der skal tilfyldes rundt om brønden. Brønden bygges op af brødringe og afsluttes med en kegle og et dæksel. Brug så høje brødringe som muligt nederst. Undgå brødringe lavere end 0,5 meter. For at brødringene ikke forskubber sig under arbejdet, er det vigtigt, at omkringfyldningsmaterialet komprimeres jævnt rundt om brønden og ikke kun på den ene side. For brønde udsat for opdrift, og hvor det er regnet med friktion fra evt. udkravning, er det vigtigt, at der komprimeres som anført i eventuelle opdriftsberegninger



TÆTHEDSPRØVNING AF BETONAFLØBS- LEDNINGER

TÆTHEDSPRØVNING

TÆTHEDSPRØVNING PÅ FABRIKKEN

Tæthedskontrol af betonrør udføres på fire forskellige måder:

1. Visuel kontrol af rørstammer og samlingsoverflader ved støbningen af rør
2. Målkontrol af de hærdede rør. Ved at måle spidsendens og muffens diameter, kan det kontrolleres om kompression i pakningen vil blive tilstrækkelig
3. Visuel kontrol af samlingsoverflader og rørstammer. Alle rør gennemgår en visuel inspektion inden levering til byggeplads
4. Der udtages stikprøver fra produktionen efter et fast mønster fastlagt i EN 1916 og DS 2420-1. Antal stikprøver er afhængig af det inspektionsniveau, den pågældende produktion er underlagt

Til specielle leverancer fx til skærpet kontrol eller specielt kontrolniveau foretages et øget antal kontroller af samlingsmål.

Den europæisk standard for betonrør, DS/EN 1916 og DS/EN 1917 for betonbrønde stiller krav til produktionskontrollen. Jævnfør standarden for betonrør kræves et prøvetryk på 50 kPa ved prøvning af rør og samlinger. Standarden angiver desuden stikprøveantallet pr. produktserie.

Kvalitetskontrollen og krav til danske betonrør er på en række områder skrapere end foreskrevet i den europæiske norm for betonrør. Kvalitetskontrollen, kvalitetskravene og de nye danske, skærpede krav til betonrør er formuleret i de danske standarder DS 2420-1 og DS 2420-2.

I Danmark stiller brugerne meget skrappe kvalitetskrav til afløbsledninger.

TÆTHEDSPRØVNING EFTER LÆGNING

I udbudsmaterialet til et afløbsprojekt skal omfanget af tæthedsprøvningen af det færdige ledningsanlæg efter lægningen fastlægges. Det gøres ved valg af såkaldte tæthedsklasser defineret i DS455, der fastsættes under hensynta-

gen til dels den forureningsrisiko (udsivning), dels den indsivningsmulighed, som det pågældende ledningssystemets placering og anvendelse indebærer. Følgende eksempler kan bruges som vejledning for, hvilken tæthedsklasse ledningssystemer eller dele af dem kan henføres til.

Lempet tæthedsklasse

Gravitationsafløbssystemer, hvor eventuelle utætheder vil være uden betydning for såvel systemets omgivelser som dets drift.

Vejledning: Vælges for ledninger og brønde, der alene fører regnvand.

Prøvnings omfang: Egentlig tæthedsprøvning udføres normalt ikke, så tæthedskontrollen beror på produktkontrollen samt kontrollen med arbejds udførelse.

Normal tæthedsklasse

Gravitationssystemer, hvor eventuelle utætheder vil have skadelig indflydelse på systemets omgivelser og/eller dets drift.

Vejledning: Ledninger og brønde, der fører spildevand eller blandet regn- og spildevand. Der forekommende sjældent opstuvning over ledningstop.

Prøvnings omfang: Der udtages stikprøver af hvert af afløbssystemets partier.

Skærpet tæthedsklasse

Gravitationsafløbssystemer, hvor systemets eventuelle utætheder vil medføre afgørende skade på systemets omgivelser og/eller dets drift.

Vejledning: Ledninger og brønde, der fører spildevand eller blandet regn- og spildevand, og hvor der ofte forekommer opstuvning over ledningstop, fx ledninger og brønde: Nær ved vandindvindingsanlæg og nær ved vandledninger, hvor der kan forekomme undertryk fx hævertledninger.

Prøvnings omfang: Alle afløbssystemets enheder tæthedsprøves.

Speciel tæthedsklasse

Trykafløbssystemer og ledninger under særlige kritiske anvendelsesforhold.

Prøvnings omfang: Alle afløbssystemets enheder tæthedsprøves.

TÆTHEDSPRØVNING I MARKEN

Den danske standard DS 455, "Tæthed af afløbssystemer i jord" angiver, hvordan tæthedsprøvningen skal foregå, når rørene er lagt. Antal stikprøver og tæthedskravet er afhængig af den valgte tæthedsklasse.

Ledninger og brønde kan tæthedsprøves både med luft og med vand. I begge tilfælde skal overtrykket i ledningen under prøvningen være 10 kPa over top af rør/brønd eller over højeste grundvandsstand over rørene/brønden.

Ved tæthedsprøvning af ledninger med luft proppes ledningssystemet af. Det nødvendige overtryk etableres ved hjælp af en kompressor. Derefter standses kompressoren, og man måler trykfaldet i ledningen over en given tid. Det kan for mindre ledninger være svært at afproppe stikledninger og vejbrønde. Det skal der tages hensyn til ved projektering og i udførelsen, inden tæthedsprøvningen udføres. Vejbrønde må ikke indgå i tæthedsprøvningen.

Tæthedskravene ved luftprøvning er følgende:

Max. trykfald ved luftprøvning af rør:

- Normal tæthedsklasse: 5 kPa
- Skærpet tæthedsklasse: 1.5 kPa
- Speciel tæthedsklasse: Kravet vil være projektafhængigt

Prøvning med vand tager lidt længere tid. Ledningssystemet skal fyldes med vand. Derefter skal der gå nogle timer (konditionering), så temperaturen mellem jord, vand og ledning kan udlignes. Konditioneringen gør også, at betonen sugervand og mættes, hvilket er nødvendigt for at prøvningen kan udføres.

Ved prøvning med vand er det formålet at måle mængden af vand, der skal tilføres for at holde prøvetrykket konstant. Mængden afhænger af dimension og længde på ledningsstrækningen. Tæthedskravene ved prøvning med vand fremgår af DS 455.

Hvis en ledning dumper ved luftprøvningen, kan den prøves med vand. I disse tilfælde er det prøvningen med vand, der er afgørende.

Tæthedskontrollen afslører bl.a., om der er opstået fejl ved samling af rørene i rørgraven. Hvis en samling er defekt, afsløres det meget tydeligt ved tæthedsprøvningen. For at finde den utætte samling foretages der en tæthedsprøve af alle samlinger eller ved TV-inspektion/visuel inspektion af samlingerne. Afløbsledninger med mange stik er vanskelige at tæthedsprøve, da der er stor risiko for fejlmuligheder ved de mange afpropninger af stik.

Tæthedsprøvning af brønde

Brøndkomponenter tæthedsprøves løbende på fabrikken. Derudover tæthedsprøves brønde i marken. De kan ikke tæthedsprøves sammen med ledningssystemerne, men skal prøves separat. Brønde kan også enten tæthedsprøves med vand eller med luft.

Ved tæthedsprøvning med luft proppes tilløb og afløb af. Afpropningen i toppen af brønden skal forankres i bunden af brønden, ellers vil overtrykket trække brøndelementerne fra hinanden. Derefter etableres det nødvendige overtryk ved hjælp af en kompressor. Prøvetrykket med luft er 10 kPa. Kompressoren standses, og man måler trykfaldet i brønden over en given tid.

Tæthedskravene ved luftprøvninger er følgende:

Maks. trykfald ved luftprøvning af brønde

- Normal og skærpet tæthedsklasse: 5 kPa

Prøvetiden afhænger af brøndens dimension og grundvandets niveau over brøndbund. Ved vandprøvning fyldes brønden med vand til top af brønd. Derefter

skal der gå en vis tid til konditionering, før brønden kan prøves. Ved prøvningen måles den mængde vand, der skal tilføres for at holde vandspejlet konstant i prøveperioden. Prøvetid og vandmængder fremgår af DS 455.

En brønd, der dumper ved luftprøvningen, kan prøves med vand. I disse tilfælde er det så prøvningen med vand, der er afgørende.

Ved montering af brønde anbefales det at kontrollere, at alle samlingsflader er fri for transportskader. Selv en mindre skade kan medføre, at brønden ikke består tæthedsprøvningen.

Vejbrønde er, grundet deres placering, ikke konstrueret til at modstå overtryk. Vejbrønde kan ikke tæthedsprøves.

PRAKTISKE TIPS OMKRING TÆTHEDSPRØVNINGEN

Både for ledninger og for brønde er tæthedskravene sat således, at ledningen ikke skal være fuldstændig tæt

I normen er det angivet, at selvom en ledning/brønd er godkendt, skal større synlige utætheder repareres, inden ledningsanlægget kan godkendes. Ledningssystemer kan tæthedsprøves både før og efter tildækning. Før tildækning er det nemmere at konstatere, hvor utæthederne er. Dele af ledningssystemet skal så tæthedsprøves igen efter tildækning.

Man skal være meget påpasselig med tæthedsprøvning af betonledninger før tildækning, hvis det er varmt vejr og solskin. Når ledningen fyldes med koldt vand, kan der opstå temperaturforskelle over rørvæggen fra det kolde vand indvendigt til den solpåvirkede overflade udenpå. Det kan bevirke, at der opstår revner i den nye betonledning.

Det er nødvendigt at være omhyggelig med prøveudstyret og sikre, at fittings, manometre mv. er i optimal og kalibreret tilstand. Ved prøvningen skal tæthedsbolden være så stor/lang som mulig for at sikre, at tætningsfladen mod betonrøret er tilstrækkelig stor. Røroverfladen skal kontrolleres for grater, som kan give utætheder mellem rørvæg og bold. Hvis der er problemer med at opnå tilstrækkelig tæthed mellem bolden og røret, kan man vælge at smøre røret indvendigt med en cementvælling. Ved prøvningen kan man sprøjte tætningsboldene (efter installationen) med sulfovand, som tydeligt med bobler afslører eventuelle utætheder i udstyret.

Det sikkerhedsmæssige aspekt ved tæthedsprøvning er vigtig, da der arbejdes med luft/vand under tryk. Der må ikke tæthedsprøves med luft, hvis trykket overstiger 30 kPa eller tæthedsprøves med vand, hvis trykket overstiger 50

kPa. U hensigtsmæssig betjening kan medføre meget farlige situationer.

Store ledninger

Store ledninger kan ikke tæthedsprøves med luft, fordi det kræver en meget stor kompressorkapacitet at skabe det nødvendige overtryk. Det er også vanskeligt at prøve med vand, fordi det kræver meget store vandmængder at fylde ledningssystemet op, og det kan være vanskeligt at slippe af med de store vandmængder igen. Desuden kan trykket flytte på de yderste rør, hvor afpropningsholdene er monteret.

Store ledninger er sjældent utætte på rørkroppen. Det er primært i samlingerne utætheder kan opstå. I store ledninger kan samlingerne prøves separat med specielt udstyr.

TV-INSPEKTION AF NYE BETONLEDNINGER

I forbindelse med overdragelsen af et nyt anlæg af betonrør fra entreprenøren til bygherren er det normalt, at der gennemføres en TV-inspektion



TV-inspektioner udføres og rapporteres efter "Fotomanualen – TV-inspektion af afløbsledninger" DANVA. Vejledning nr. 57, 2015. En bygherre vil altid i forbindelse med et udbud opstille de acceptkriterier, det færdige anlæg skal opfylde.

ACCEPTKRITERIER

Principielt skal der ikke være nogle observationer, bortset fra registrering af tilslutninger, når et nyanlæg TV-inspiceres. Imidlertid findes der observationstyper, hvor det ikke umiddelbart er muligt at vurdere, om observationen betyder, at:

- Der er fejl på ledningssystemet
- Observationen kun har kosmetisk betydning
- Observationen skyldes en speciel udformning af fx samlinger

I det følgende gennemgås de observationer ved en TV-inspektion af betonledninger, som kan give anledning til diskussioner

mellem producent, entreprenør og bygherre. Fotomanualen er opbygget, så hver observationstype først defineres. Derefter opdeles hver observation i tre til fire klasser alt efter, hvor alvorlig/stor den ser ud ved TV-inspektionen.

Acceptkriterier anvendes ved TV-inspektion af nye ledninger. I det følgende er der for hver observation angivet en definition, og derefter en eller to klasser. Det er de klasser, der eventuelt kan forekomme ved en inspektion af et nyt anlæg med betonrør.

REVNER OG BRUD, RB

Definition:

Der er revner eller brud i rørmaterialet.

Klasse 1: Afskalning i stive rør

Klasse 2: Revner i stive rør

Årsagen til revner og brud kan være:

- Transport- og lægningsskader
- Sætninger i udjævningslag og omkringfyldning
- Manglende eller forkert komprimering af omkringfyldning
- Dårligt rørmateriale/forkert producenterede rør
- For store belastninger. (trafik, jorddækning mv.)
- Uens temperaturpåvirkning fx ved tæthedsprøvning med vand før tildekning af betonrør

RB

Revner og brud accepteres ikke i et nyanlæg

I nyanlagte ledninger vil revner/brud RB som regel kun forekomme i sjældne tilfælde, og det vil sandsynligvis

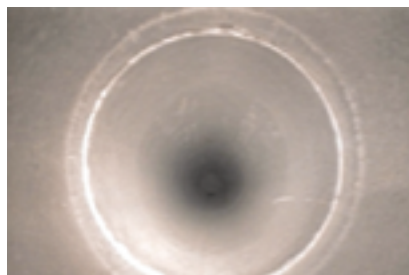
kun være i form af afskalninger på rørvæggen. Fine revner kan, hvis rørene har ligget under grundvandsspejl i nogle år, oftest observeres ved kalk- eller okkerudfældninger på rørvæggen. Afskalninger rapporteres som RB1. Afslåede kanter ved rørenderne betragtes som afskalninger.

KOSMETISK FEJL

Ved støbning af betonrør kan der under afformningen opstå mærker på rørene, som kan forveksles med brudlinjer.

Ridser fra sten, der sidder fast i formen under afformningen, eller transportmærker fra gaffeltruck kan forveksles med brudlinjer. Ved at zoome ind på ridserne kan det ses, om det er en betonrevne. En sådan betonrevne har et zik-zak forløb. Afskalninger kan stamme fra håndtering af rørene og ses ofte i spids- eller muffeender på rør.

En afskalning er defineret som et mindre udfald af rørmaterialer fra rørvæg. Ubetrydelige afskalninger rapporteres ikke ved TV-inspektionen som en observation.



Hvid aftegning, der stammer fra den indvendige støttering, der anvendes for at styre spidsens mål ved fremstillingsprocessen. Det hvide slør er en let kalkudblomstring, men kan forveksles med en cirkulær revne. Rørdimension er DN800 mm.



Kosmetiske fejl i form af ridser i rørvæg fra gaffeltruck samt en mindre afskalning. Disse observationer vil være uden betydning for ledningens funktion. Rørdimension DN800 mm.

on, men angives kun i bemærkningsfeltet. Små afskalninger kan betragtes som kosmetiske fejl.

Hvis det indvendige dæklag ved løftebolte i betonrør ikke har tilstrækkelig kvalitet, kan der ske indsvivning. Der gives udfældninger i en tynd stribe ned af røret. I nogle tilfælde "lukker" indsvivningen sig igen, og kun striben bliver tilbage. Denne stribe kan også forveksles med en brudlinje.

OVERFALDEBESKADIGELSE, OB

Definition: Rørets inderside er påvirket af aggressive medier (korrosion) eller slidtage (erosion.)

OB

Overfladebeskadigelser accepteres ikke i nyanlæg

Klasse 1:
I betonrør: en begyndende fri-lægning af sten observeres.

Betonoverflader

kan indeholde luftblærer eller sandkorn, så overfladen ligner en korroderet overflade uden at være det.



I nye betonrør i små dimensioner kan overfladerne se meget ru ud på grund af den korte afstand mellem kamera og rørvæg

PRODUKTIONSFEJL, PF

Definition: Der er opstået fejl på rørene under fremstilling, som viser sig ved ændring af tværsnittet eller som udstrækning på rørets inderside.

PF

PF 1 kan evt. accepteres i betonrør

Klasse 1:
Produktionsfejl
udgør op til 5 %
af tværsnitsarealet eller har en
udstrækning på

rørets inderside på op til to timer. I forbindelse med nyanlæg vil produktionsfejl være fx stenreder i betonrør. Ved støbning af betonrør kan der opstå kosmetiske uregelmæssigheder som små stenreder eller revnelignende overgange, stikhuller eller større luftblærer (i betonrør vil der altid være mindre luftblærer). Det er typiske overfladefænomener, som normalt ikke har indflydelse på betonrørens styrke, holdbarhed eller vandføringsevne. Større støbefejl eller stenreder kan have indflydelse på ledningens funktion og skal derfor rapporteres ved TV-inspektionen.

Stenreder kan skyldes, at betonen ikke vibreres tilstrækkeligt ensartet under udstøbningen. Stenreder kan også opstå ved faststøbning af løftebolte. Stenreder gør betonen mere porøs, så ind- og udsivning kan forekomme. Store porøse stenreder kan nedsætte holdbarheden.

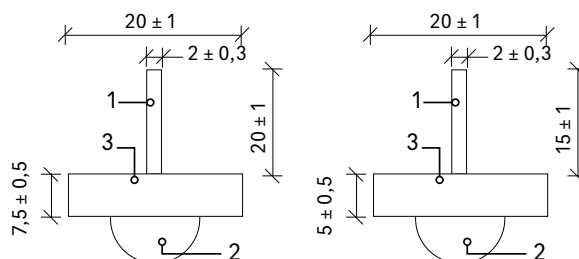
I standarden for betonrør DS/EN 1916 stilles der krav til rørenes kvalitet. Det angives bl.a., at rørene skal være fri for funktionsbetydende støbefejl. Det er også angivet, at fine revner i cementrige lag og hårfine revner i overfladen op til 0,15 mm er tilladt. Produkternes overflade skal være fri for blærer og grater, som kan have en negativ indvirkning på produkternes konstruktive eller hydrauliske egenskaber.

Der anvendes to forskellige dorne til måling af maksimal blærestørrelse:

For uarmerede rør	
Med godstykkelse $t \leq 80$ mm anvendes:	Halvkugle $\varnothing 10$ mm/Dybdedorn 15 mm
Med godstykkelse $t > 80$ mm anvendes:	Halvkugle $\varnothing 15$ mm/Dybdedorn 20 mm
For armerede rør	
Anvendes kun:	Halvkugle $\varnothing 10$ mm/Dybdedorn 15 mm

Måleklodsens består af en halvkugle med bryst og dybdedorn:

- 1 = Målecylinder
- 2 = Halvkugle
- 3 = Cylinder



I DS2420-1 stilles der krav til de maksimale størrelser af blærer i betonens overflade, samt at der ikke må være udragende grater i rørets indvendige side > 5 mm. Når en blæres størrelse skal måles, anbringes måleklodsens halvkugle i overfladens blære. Når en blæres dybde skal måles, anbringes måleklodsens pind i overfladens blære. Produktet efterlever standardens krav når to modstående sider af måleklodsens cylinderkant ikke berører rørets overflade



Eksempel på en blære i et DN800 mm betonrør. Blæren er større end tilladeligt, men har ingen effekt på rørets funktion

Det er vanskelige at vurdere ud fra TV-inspektion, om en støbefejl/stenrede kun er en kosmetisk fejl på overfladen, eller om røret er porøst hele vejen igennem. Det afsløres kun via indsigning, når ledningen ligger under grundvandsspejlet eller ved tæthedsprøvning. Det er derfor hensigtsmæssigt at kende grundvandsspejlets beliggenhed, inden inspektionen gennemføres.

Hvis der er tvivl, om en støbefejl er overfladisk, eller går gennem hele røret, er

det hensigtsmæssigt at gennemføre en tæthedsprøve efter DS 455, "Norm for tæthed af afløbssystemer i jord, 1985". I normen bliver acceptkriterier for tæthed også angivet. Hvis ledningen er højtrykspulet umiddelbart før inspektionen, kan det ske, at den porøse beton i stenreden har opsuget vand. Ved TV-inspektionen ses det som en fugtplamag på rørvæggen, selvom der i princippet ikke er tale om indsigning. Rør med store transport-skader i spids- og mufteende, rør med store synlige stenreder eller støbefejl, rør med revner eller lignende skal kasseres ved modtagekontrollen og må ikke lægges ned i jorden. Hvis fabrikanten har forsøgt at reparere skaderne inden levering, bør rørene også kasseres.

Mange tvivlsspørgsmål kan undgås, hvis entreprenøren laver en ordentlig modtagekontrol af betonrør, så rør med skader kasseres, inden de lægges i jorden. Bygherren stiller kravene og kan stille krav om, at produktionsfejl i form af støbefejl/stenreder ikke accepteres i nyanlæg. Derudover kan bygherren stille krav om, at kun PF1, som af bygherren vurderes til at være uden betydning for ledningens funktion, kan accepteres.

FORSKUDT SAMLING, FS

Definition: Et rør er ikke centreret i samling eller når ikke helt eller delvist sammen med næste rør.

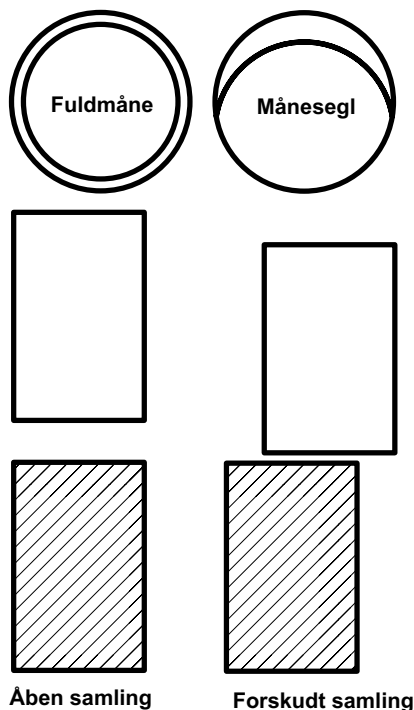
Klasse 1:

Samling har forskydning i længde- og/eller tværgående retning på:
Stive rør: Op til halv godstykkelse.

FS

FS 1 vil normalt kunne accepteres i forbindelse med nyanlæg, fordi observationen er be-
hæftet med stor usikkerhed. Observationen kan enten skyldes en forskudt eller åben samling, en retningsændring, endefladeskævhed, en lovlig bagspalte eller en speciel udformning af spidsenden

Definitionen dækker både forskydninger i tværgående retning (forskudt samling), og længdegående retning (åben samling) og retningsændring (vinkeldrejning). TV-inspektionsfirmaer vurderer forskudte samlinger ud fra størrelsen af et månesegl og de vurderer åbne samlinger ud fra størrelsen af fuldmånen:



TILLADELIG VINKELDREJNING I SAMLING

Betonledninger kan tåle en vis vinkeldrejning i samlingerne, uden at sikkerheden for tæthed forringes. Den tilladelige vinkeldrejning i en samling er deklareret af fabrikanten i forbindelse med typeprøvning af samlingen.

For betonrør er det i DS 437 "Norm for lægning af stive ledninger af beton mv. i jord" angivet, at vinkeldrejningen i samlingerne i en nyanlagt ledning, kun må

udgøre 2/3 af den maksimalt tilladelige vinkeldrejning. Kravet om vinkeldrejning sikrer, at der er plads til, at ledningen kan "sætte sig" lidt, uden at de maksimalt tilladelige vinkeldrejninger overskrides.

Deklaration af den maksimale vinkeldrejning i en samling er tæt forbundet med deklARATIONEN af en maksimal bagspalte, jf. afsnit om Åben samling.

Tabellerne viser de deklarerede maksimale vinkeldrejninger i samlinger for henholdsvis ig- og EURO-rør:

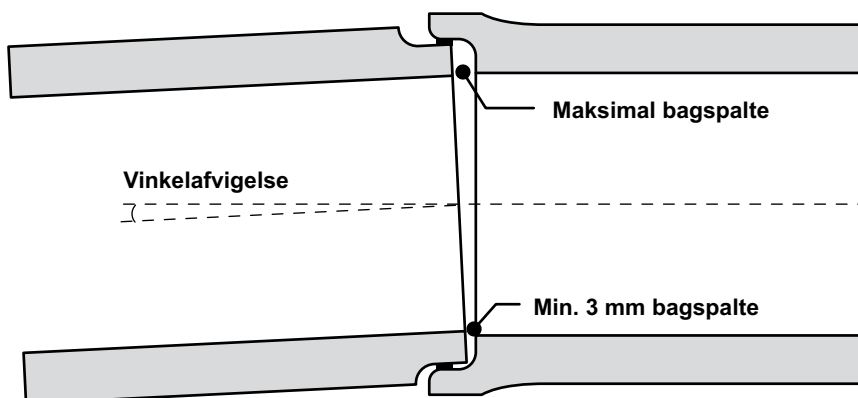
Rørdimension (mm)	250	300	400	500	600	700
Maksimal vinkeldrejning (°)	2,9	2,4	3,0	2,4	2,0	2,0
Rørdimension (mm)	800	900	1.000	1.200	1.400	1.600
Maksimal vinkeldrejning (°)	1,8	1,6	1,4	1,4	1,4	1,1

Maksimalt tilladelige vinkeldrejninger i samlinger i ig-systemet ved 2/3 af maksimal bagspalte

Rørdimension (mm)	250	300	400	500	600	700
Maksimal vinkeldrejning (°)	2,3	2,8	2,2	1,9	1,5	1,3
Rørdimension (mm)	800	900	1.000	1.200	1.400	1.600
Maksimal vinkeldrejning (°)	1,1	1,0	0,9	1,0	0,9	0,8

Maksimalt tilladelige vinkeldrejninger i samlinger i EURO-systemet ved 2/3 af maksimal bagspalte

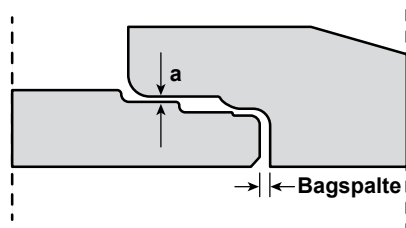
Som det kan ses af figuren herunder, vil den maksimalt tilladelige vinkeldrejning være ensbetydende med, at den maksimalt tilladelige bagspalte forekommer på en del af røret.



Vinkeldrejning i en samling er ensbetydende med, at bagspalten er stor i den ene side af samlingen

AFFASNING AF SPIDS- ELLER MUFFENDE

Da såvel spids- som mufteende ofte er afrundede/affasede i betonsystemer, kan affasningen ligne en halv – eller en helmåne, og det er vanskeligt at bruge godstykkelsen som måleparameter ved vurdering af den forskudte samling.



Udformning af spids- og mufteende i beton (EURO)

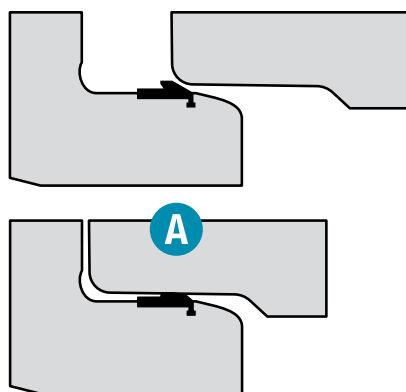
MANGLENDE ELLER FORKERT ANBRAGT TÆTNINGSMATERIALE

Manglende gummiringe i betonsystemer burde være en usandsynlig fejl i nyanlæg.

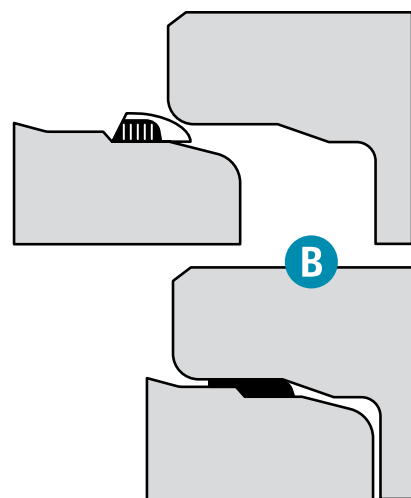
Men det kan naturligvis forekomme, at gummiringen forskubbes sig. I figurene nedenunder er vist samlinger i (A) ig- og (B) EURO-systemet i beton.

Da spalten mellem spids- og mufteende er meget lille, og endda er udfyldt med en gummiring, vil muligheden for sideforskydning være meget begrænset.

En forskydning, som klassificeres FS 2, og som virkelig er en forskydning, er derfor sandsynligvis ensbetydende med muftebrud i forbindelse med nyanlæg.



Samling i ig-systemet

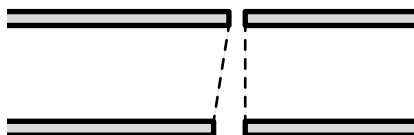


Samling i EURO-systemet

ENDEFLADESKÆVHED I SPIDSENDEN

DS/EN 1916 stiller krav til den størst tilladelige endefladeskævhed på betonrør. En samling, hvor der indgår et rør med endefladeskævhed, vil ved TV-inspektionen se ud som en halvmåne og kan også medføre uens bagspalte.

Det er således svært at skelne mellem vinkeldrejning og endefladeskævhed, når årsagen til den forskudte samling skal vurderes.



Endefladeskævhed kan forveksles med forskudt samling eller vinkeldrejning

BESKADIGET SPIDS- OG MUFFEENDE

Større forskydninger i samlingerne mellem nye rør kan næsten kun skyldes beskadigelser i spids- og mufteenden.

ÅBEN SAMLING – ÅS

Bagspalter findes i betonsystemer. Det er desværre endnu ikke muligt at måle størrelsen af en bagspalte ved hjælp af TV-inspektion. Angivelse af, hvor stor en bagspalte er (hvilken klasse), vil derfor altid ske ud fra en vurdering af billedet på TV-skærmen.

Overgang mellem forskellige materialer eller forskellige dimensioner kan se ud som en åben samling fx på grund af særlige formstykker. Dette skal markeres i TV-rapporten.

BAGSPALTER

"Bagspalten" i betonrør er et udtryk for, at der skal være afstand mellem et rørs muffebund og følgende rørs spidsende, se figur A og B på forrige side. Ig- og EURO-gruppen har deklareret bagspalterne, og deklarationen ses her i **figur A** og **B**.

FIGUR A

Rør-dimension mm	Maksimal bagspalte mm	Minimal bagspalte mm
ø250 - ø300	16,0	3
ø300 - ø600	24,0	3
ø700 - ø1200	28,0	3
ø1400 - ø1600	34,0	3

Deklaration af bagspalter i ig-rør. De angivne tal svarer til 2/3 af den maksimale tilladelige værdi

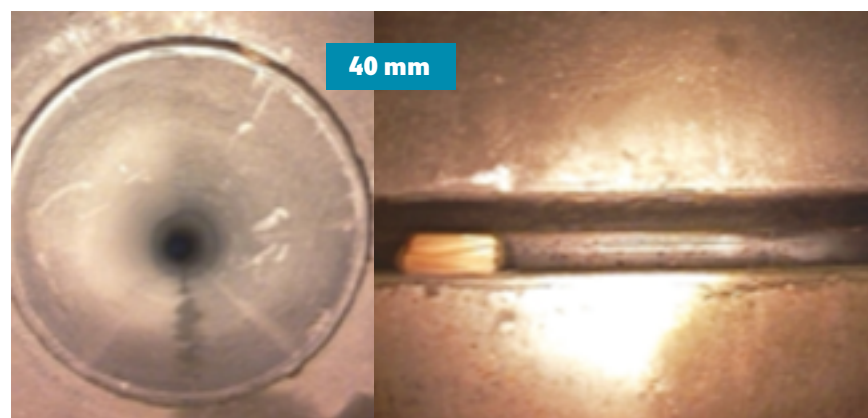
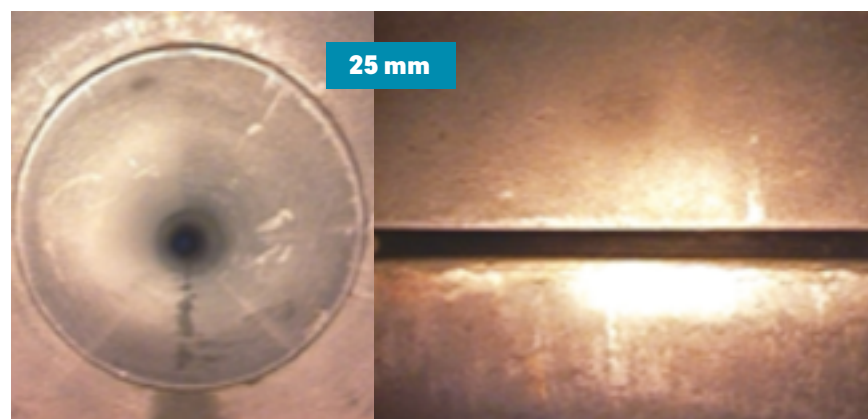
FIGUR B

Rør-dimension mm	Maksimal bagspalte mm	Minimal bagspalte mm
ø250	19,0	3
ø300 - ø500	24,5	3
ø600 - ø1000	26,0	3
ø1200 - ø1600	30,0	3

Deklaration af bagspalter i EURO-rør. De angivne tal svarer til 2/3 af den maksimale tilladelige værdi

De angivne maksimale bagspalter svarer til 2/3 af den maksimale værdi. Det skyldes, at der er taget højde for, at der efterfølgende kan forekomme sætninger i jorden. De angivne bagspalter i tabellen er således de maksimale bagspalter, der må forekomme i en nylagt ledning.

Billederne nedenunder viser hvordan to forskellige størrelser af bagspalter ser ud ved en TV-inspektion



Bagspalter i et DN400 mm EURO betonrør. Bemærk, at bagspalten på 25 mm lige kan accepteres, mens bagspalten på 40 mm ikke kan accepteres

SPIDSENDER

Udformningen af spidsenden har stor betydning for, hvordan samlingen ser ud ved en TV-inspektion. Når spidsende og muffebund er afrundede/affasede (jf. afsnit "Udformning af spids- og mufteender i beton"), kan godstykkelsen og muffedybden ikke registreres som et veldefineret mål. Derfor savnes der et sammenligningsgrundlag (godstykkelsen) ved vurdering af, om samlingen er længdeforskudt. Rapporteringen af observationen er derfor behæftet med en rimelig stor usikkerhed.

SAMMENFATNING

Det er ikke muligt for en operatør at afgøre, om et månesegl er opstået på grund af en tværforskudt eller vinkel-drejet samling, eller om måneseglet er opstået af andre grunde. Vurdering af om en FS1 skyldes en fejl, eller er opstået af andre grunde, må afgøres af bygherren og dennes rådgivere.

INDSIVNING – IN

Definition:

Vand siver eller løber ind i ledningssystemet gennem utætheder.

Klasse 1:

Rørvæggen er fugtig som indikation på indsivning. Intet synligt sivende eller dryppende vand. Ses ofte som en glinsen på rørvæggen.

Klasse 2:

Vand siver eller drypper langsomt ind.

IN

IN 1 bestående af enkelte fugtige pletter på betonrør accepteres

Forklaring:

Indsivning angiver, at ledningen er utæt. Indsivningen foregår gennem alle utætheder såsom samlinger, revner, støbefejl, stenreder mv. Kraftig indsivning kan medføre, at omkringfyldningen skylles ind i rørene, så der sker sætning af ledningen, af bygninger eller i veje og på andre ledningsanlæg.

Indsivning foregår kun, når grundvandspejlet ligger højere end afløbsledningen. I tilfælde af varierende grundvandsstand kan både indsivning og udsivning finde sted. Hvis der findes vandførende jordlag i nærheden, kan forurening spredes til sårbare områder som vandboringer, vandløb, badestrand mm.

En ledning uden indsivning er ikke nødvendigvis tæt. Ved de ledninger, der ligger højere end grundvandsspejlet, er en TV-inspektion ikke i stand til at afsløre utætheder. Tæthedsprøvning udført efter DS 455 "Norm for tæthed af afløbsledninger i jord", er den korrekte måde at afgøre på, om en ledning er tæt.

Det ligger i betons natur, at ligegyldigt hvor høj kvaliteten er, vil beton altid være et porøst og inhomogent materiale. Der foregår imidlertid forskellige fysiske og kemiske processer i beton, der medfører, at mindre utætheder med tiden forsegles. Processen kaldes "autogen healing", se kapitel 8.

I nye betonrør kan der forekomme mindre indsivninger, som vil lukke sig igen på grund af den naturlige hærdeudvikling, der altid foregår i beton. Hærdeudviklingen er ensbetydende med, at betontætheden øges med tiden. I forbindelse med krav til tæthed af rør DS/EN 1916 er det tilladt med fugtpletter på rørvæggen. Dråber tillades ikke. I områder med kalk eller okker i grundvandet vil indsivning efter et stykke tid afsløres i form af større eller mindre belægninger på inder-siden af røret.

Mærker fra indsivning kan i sjældne tilfælde stamme fra "genindsivning" fra en vandfyldt ledning. I forbindelse med spuling eller regnvejr er vand blevet presset ind i rørvæggen og danner fugtige plamager på rørvæggen, og det ligner indsivning. Se også bemærkningerne under stenreder. Ligeledes kan det i sjældne tilfælde ses, at fugtplamager tæt på samlinger kan stamme fra vand, der har samlet sig i den tætte samling og derved afgiver fugt til rørenderne.

Hvor en tidligere, nu helt tør indsivning, har efterladt en farvning eller aftegning, gøres et notat i bemærkningsrubrikken om mærker efter indsivning. Dog rapporteres det ikke som indsivning i skemaet.

Kun ved ledninger under grundvandspejlet kan man ved gentagne TV-inspektioner vurdere, om en utæthed har lukket sig. Hvis TV-inspektioner viser mange fugtige pletter på rørvæggen, er det almindeligt at aftale en fornyet inspektion fx efter et år, for at se om utæthederne har lukket sig.

I forbindelse med mindre indsivninger i en samling vil vandet ofte løbe langs gummipakningen til bunden af røret. Dette kan være svært at skelne fra det vand, der ofte står i bunden af ledningen, hvis ledningen er blevet spulet umiddelbart før TV-inspektion. Vanddråber på rørvæggen kan også stamme fra kondens.

Hvis der forekommer større indsivninger, bør der foretages en tæthedsprøvning efter DS 455, "Norm for tæthed af afløbssystemer i jord" - der også angiver acceptkriterier. Acceptkriterierne er fastlagt, så ledninger kan godkendes, selv om de indeholder mindre utætheder. Det er angivet, at selv om en ledning opfylder tæthedskravet, og dermed kan betragtes som godkendt, skal grove fejl, synlige utætheder mv. udbedres efter aftale med bygherrens tilsyn. Først herefter kan ledningen blive endelig godkendt.



AUTOGEN HEALING AF REVNER I BETON

Mange materialer bliver svagere med tiden –undtagen beton. Når det drejer sig om beton, fortsætter betonen imidlertid med at udvikle sin tæthed - og dermed styrke – i flere år efter udstøbningen

Det sker bl.a. ved en række forskellige fysiske og kemiske processer, som samlet set kan beskrives med betegnelsen autogen healing. Man kan populært sige, at betonrøret ikke er "færdigt" som produkt, hvad angår styrke og tæthed, ved leveringen. I dette kapitel beskrives de fem væsentligste processer, som fører til autogen healing af betonrør.

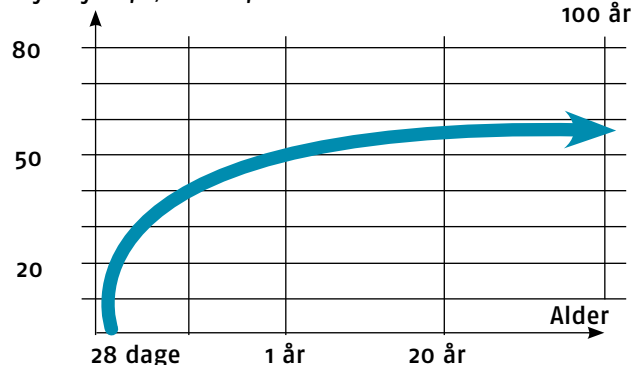
Autogen healing af beton har været kendt i årevis. Over 50 års praktiske erfaringer med anvendelse af armering i betonkonstruktioner har vist, at revneviddedesignet er acceptabelt: Ved beregning og prøvning accepteres ved maksimal belastning op til 0,3 mm brede revner i betonen – også når betonen anvendes i et aggressivt miljø. For at

armeringen kan træde i funktion skal betonen revne. At det går godt med korrosion af armeringen og betonkonstruktionens tæthed skyldes bl.a. de processer, som er i stand til at forsegle revner i betonen, det vil sige "autogen healing".

FORTSAT HYDRATISERING

Det er sædvanlig dansk praksis at tage udgangspunkt i en alder på 28 modenhedsdøgn, når styrker for beton skal måles eller sammenlignes. Det er imidlertid et kendt faktum, at beton udvikler styrke og tæthed i lang tid ud over denne grænse. Specielt i de tilfælde, hvor der anvendes puzzolaner eller traditionel kul-flyveaske i betonproduktionen, er betonens sene styrkepotentiale øget. Når cement kommer i forbindelse med vand, opløses den yderste skal af cementkornene og danner en skal af binde-middel. Da de dannede produkter fylder ca. dobbelt så meget som den uhydratiserede cement, bliver skallen stadigt tykkere og tættere, efterhånden som hydratiseringen af cementen skrider frem. Den øgede tæthed og tykkelse af skallen bevirker, at vandets adgang til den uhydratiserede cement bliver stadig vanskeligere. Derved falder hydratiseringshastigheden gradvist. Hydratiseringen går dog ikke helt i stå, før der enten ikke er mere frit vand eller uhydratiseret cement til stede i betonen.

Trykstyrke, rørbeton, MPa



Rørens styrke bliver ved med at udvikle sig over mange år. Den sene styrkeudvikling er blandt andet afhængig af puzzolanindhold og cementtype. For rørbeton er den sene styrkeudvikling specielt kraftig pga. et stort indhold af restcement, som umiddelbart ikke udnyttes tidligt i hærdprocessen. Det ligger i betons natur, at ligegyldigt hvor høj kvaliteten er, vil beton altid være et porøst og inhomogent materiale

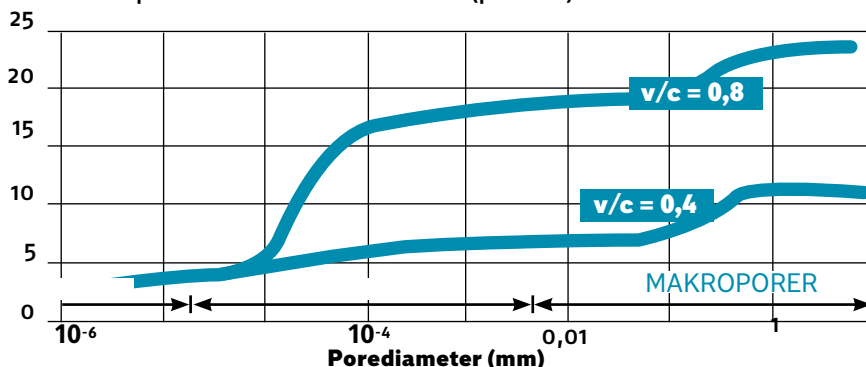
DE PORER, DER FINDES I BETON, KAN OPDELES I TRE GRUPPER:

- 1** Gelporer, ca. 0,5 – 2 · 10⁻⁶ mm
- 2** Kapillarporer, ca. 2–5 · 10⁻³ mm
- 3** Makroporer, Ca. 0,005 - 1 mm

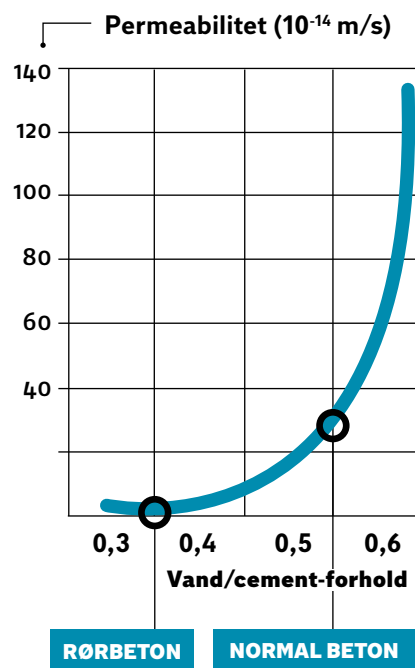
Den afgørende faktor for en betons porestruktur, altså fordelingen mellem gel-, kapillar- og makroporer, er forholdet mellem vand og cement, v/c-forholdet, i den friske beton. Jo lavere v/c-forholdet er, des mindre plads er der for cementen at skulle udfylde med bindemiddel. Det resulterer i en tættere cementpasta i betonen, og dermed en mere holdbar og stærk beton.

På grund af materialets porøsitet, vil der i hele betonens levetid optages og afgives fugt til og fra omgivelserne alt afhængig af omgivelsernes temperatur og fugtighed. Den fugt, der optages fra omgivelserne, indgår i den videre hydratisering af cementen. Processen går langsomt pga. betonens tætte porestruktur og den tætte skal af bindemiddel omkring den uhydratiserede cement. Betonen vil dog på trods af den langsomme fugtoptagelse på den vis øge sin styrke og tæthed.

Kumuleret porevolumen/betenvolumen (procent)



Såvel samlet porevolumen, som fordelingen mellem de enkelte poretyper, afhænger især af betonens v/c-forhold. Af grafikken fremgår det, at der for det første er et større samlet porevolumen ved højt v/c-forhold. Derudover ses det, at mens volumen af gelporer og makroporer er stort set ens for de to v/c-forhold, er der stor forskel i volumen af kapillarporerne. Netop kapillarporerne er afgørende for betonens permeabilitet



I grafikken til venstre ses betons permeabilitet (vandgennemtrængelighed) som funktion af v/c-forholdet. Med lavere v/c-forhold, fås en tættere beton, og dermed også en lavere permeabilitet. Permeabiliteten er helt afgørende for vandtransporten gennem beton udsat for vandtryk. Den beton, der anvendes til betonrør, har typisk et v/c-forhold på 0,35-0,4. Dette betyder en betydelig mindre permeabilitet end normal konstruktionsbeton, som typisk har et v/c-forhold på 0,6



Ved gennemsnit af et betonrør kan det bedre forstås, hvordan det er bygget op. Beton er aldrig 100 procent luft- eller vandtæt. Selv i en meget høj kvalitet vil der ved tilstrækkelig højt tryk kunne presses vand igennem betonens poresystem. Men med tiden øges betonens tæthed, og muligheden for vandtransport gennem betonen er meget begrænset

KALKUDFÆLDNING

Vand, som er i forbindelse med atmosfærisk luft, vil indeholde en mængde opløst CO_2 . Opløsningen af CO_2 i vand foregår efter følgende proces:



Det gennemsnitende vand opløser den kalciumhydroxid, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, der findes i cementpastaen.



Derved findes der karbonationer, CO_3^{2-} , og kalciumioner, Ca^{++} , i vandet. Disse ioner danner den ikke-vandopløselige kalciumkarbonat:



Det er denne kalciumkarbonat, der udfældes langs porer og mikrorevner i betonen, og ses som kalkudfældninger.

RESTCEMENT

Den beton, der typisk anvendes til betonrør, har et lavt v/c-forhold – helt ned til 0,35. Det giver som udgangspunkt en meget tæt, stærk og holdbar beton. Det lave v/c-forhold og den specielle fremstillingsmetode for betonrør betyder, at der ikke er tilstrækkeligt vand i betonen til, at alt cement i cementpastaen bliver hydratiseret under fremstillingen.

Der kan gå mange år, før alt restcement er hydratiseret, men de rigelige mængder cement sikrer en lang fortsat hydratisering, som kan indgå i en tætningsproces. At der er et indhold af restcement, konstateres tydeligt, når frasorterede rør eller ældre rør knuses til genbrug. Når den knuste beton udsættes for vand, bindes det knuste materiale sammen pga. restcementen.

SELVTÆTNING VED DANNELSE AF KALCIUMKARBONAT

Der er flere forhold ved betonen, der gør, at den i mange tilfælde er i stand til at udvikle yderligere tæthed med tiden. For beton generelt er dannelse af kalci-

umkarbonat af stor betydning. Dannelse af kalciumkarbonat, også populært kaldet kalkudfældninger, er et resultat af, at beton, der er placeret udendørs, er udsat for påvirkning af fugt og luftens CO_2 . Herved dannes kalciumkarbonat, der ses som gul-hvide kalkudfældninger. Efterhånden som der dannes mere og mere kalciumkarbonat, vil utæthederne i betonen blive mindre og mindre for til sidst at lukkes helt. Se figuren 1.

Dannelsen af kalciumkarbonat er den hyppigste årsag til selvtætning af beton.

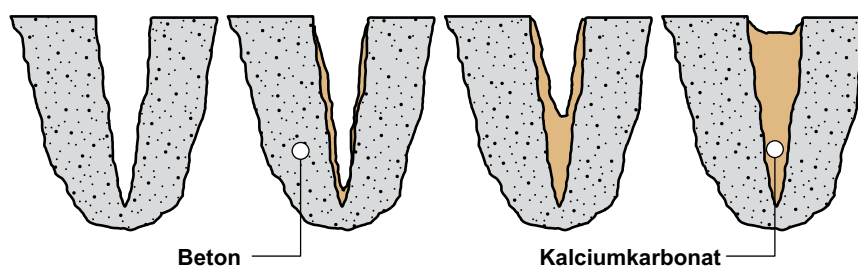
I mange tilfælde er det nødvendigt for at de øvrige tætningsmekanismer kan have effekt.

Dannelsen af kalciumkarbonat er her beskrevet meget kortfattet. Hvis en defekt i et rør er lukket af kalciumkarbonat, er denne tætning af så stor styrke, at højtryksspuling ikke giver fornyet utæthed.

Den dannede kalciumkarbonat strækker sig typisk et godt stykke ind i rørvæggen. Højtryksspuling vil kun fjerne dele af det yderste lag.

FIGUR 1

Overfladerevne



Ved udfældning af kalciumkarbonat lukkes revnen med tiden.

PAKNING AF FINE PARTIKLER FRA INDSIVENDE VAND

Hvis der er en lille utæthed igennem rørets godstykkelse, vil det være en labyrintvej igennem betonens porestruktur. Her er der mange chancer for at fine partikler og urenheder i det indsvivende vand pakker sig og tætnes for yderligere indsvivning. Små sandkorn og specielle lerpartikler, der trænger ind i en revne sammen med det indsvivende vand, kan pga. en lille kornstørrelse skabe en meget tæt og fast kitmasse i revnen, se grafiken nedenunder. Undersøgelser viser, at vandgennemtrængningen gennem en revne falder meget markant, hvis det gennemtrængende vand indeholder fine partikler.

De indsvivende partikler indgår i en selvtættende proces sammen med de øvrige tæthedsøgende mekanismer. Indtrængende partikler kapsles fx ind i udfældet kalciumcarbonat. Hvis grundvandet er aggressivt over for betonen (lav pH-værdi), er der risiko for at indsvivende grundvand med tiden laver labyrintvejen igennem betonen større. Det er kun meget få steder i Danmark, hvor grundvandet er aggressivt over for et nyere tæt rørbeton. Her tænkes specielt på moseområder.

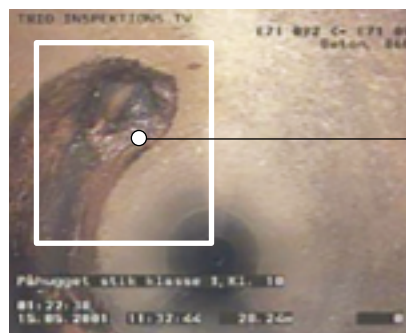


Øverst i billedet har grundvand fundet vej igennem betonens poresystem. Her vist noget fortegnat. Der er indtegnet en del makroporer, og vandet finder også vej mellem tilslag og pasta. Lidt længere nede i billedet er en lignende vej igennem poresystemet lukket af fine partikler i det indtrængende grundvand. Partiklerne danner en tæt kitmasse, som får stor styrke på grund af udfældet kalciumcarbonat og hydratisering af noget af restcementen i rørbetonen. Processen sikrer ofte en 100 % lukning for yderligere gennemstrømning af grundvand

UDFÆLDNINGER

Udfældninger kan også foranledige, at en labyrintvej igennem betonvæggen lukkes. Udfældninger består af fast materiale som kalk eller okker.

Disse stoffer findes visse steder i grundvandet. Når grundvandet siver igennem utætheder og iltes via luften i afløbsrøret, udfældes disse stoffer. Aflejringerne kan være så hårde, at de skal fræses væk.



Udfældninger på grund af indsvivende grundvand ved påhugget stik. Udfældningerne består her delvis af okker. Det er ofte set, at udfældninger ligefrem kan tætnes en fejlbehæftet samling. Ligeledes vil udfældningerne som regel også medvirke til at tætnes mindre indsvivninger i rørstammen. Fænomenet med udfældninger, der sætter sig som hårde skorper, ses også i dagligdagen, hvor udfældningerne ses i forbindelse med dryppende vandhaner og lignende



BETONRØRS BESTANDIGHED

Afløbsledninger udgør en vigtig del af infrastrukturen i et samfund. Ledningernes bestandighed, som er afgørende for deres funktion og levetid, er derfor af stor betydning

INTRODUKTION

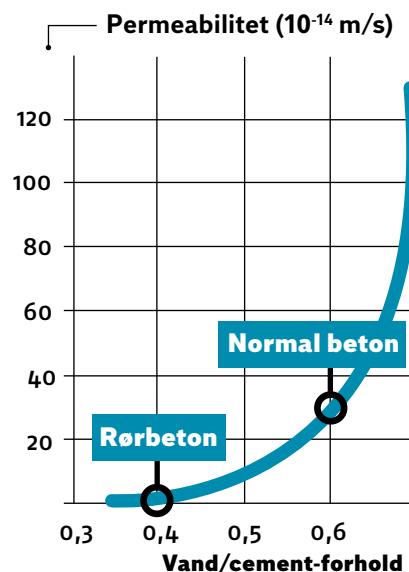
I denne sammenhæng knytter vurderinger af bestandighed sig oftest til rørmaterialets evne til at tåle en kemisk påvirkning fra afløbsvandet og de omkringliggende jordarter – og sekundært af rørmaterialets evne til at modstå slitage.

Moderne betonrør fremstilles af beton med et lavt vand/cementforhold (ca. 0,35-0,40), hvilket giver en tæt betonpasta/mikrostruktur, som sikrer, at betonen er meget holdbar og har en høj styrke (>45 MPa). Det lave vand/cementforhold og det høje cement-indhold svarer til kravene til beton i eksponeringsklasserne XD2, XD3, XS3, XF4 og XA3 i henhold til EN 206 DK og EN 206 DK/NA. Det vil sige krav der stilles til beton, som forventes at blive udsat for ekstra aggressive eksponeringsbetingelser.

Grafen nedenunder viser, at vandpermeabiliteten for en beton med et vand/cementforhold på 0,4 er næsten nul.

Det er vigtigt for en betons bestandighed i et aggressivt miljø. Mange betonrør har desuden den store holdbarhedsmæssige fordel, at de normalt ikke er udsat for to af de mest dominerende nedbrydningsmekanismer for betonkonstruktioner generelt:

1. Frost kombineret med saltpåvirkning
2. Armeringskorrosion (betonrør er ofte uarmerede og hermed undgås risikoen for armeringskorrosion)



Vandpermeabiliteten i beton er afhængig af vand/cement-forholdet

PÅVIRKNING FRA SPILDEVAND OG VEJLEDENDE VÆRDIER FOR VÆSKER OG JORDS PÅVIRKNING AF BETONRØR

Spildevand fra husholdning eller regnvand fra gader og veje er som udgangspunkt normalt meget lidt aggressivt. I tabellen til højre ses den typiske sammensætning af husspildevand. Rensning af spildevand er i stigende grad centraliseret. Der betyder lange trykledninger og længere opholdstid i fuldtløbende trykrør, hvor der ikke sker nogen tilførsel af ilt.

Det fremmer dannelsen af svovlbrinte, som kendes fra lugtproblemer i spildevand, gylle og organisk affald. Samtidig separeres spildevand og regnvand i stigende grad, hvorved koncentrationen af diverse kemiske stoffer i spildevandet

Analyseparametre	Normalt husspildevand
Organisk stof BOD	Ca. 200 mg =O2/l
pH (vand)	7-7,5
Ammoniak kvælstof	Ca. 25 mg N/l
Total Kvælstof	Ca. 35 mg N/l
Magnesium	10-40 mg/l
Sulfat	Ca. 100 mg/l
Natrium	10-200 mg/l
Kalium	5-30mg mg/l
Klorid	100-150 mg/l

Typisk sammensætning af husspildevand

øges. Begge disse ændringer fremmer dannelsen af svovlbrinte og accelererer dermed nedbrydningen af betonrør.

Man skal desuden være opmærksom på:

- Uhensigtsmæssig svovlbrinteudvikling ved pumpestationer
- Specielt aggressivt industrispildevand
- Specielt aggressive jord- og grundvandsforhold

Vejledende værdier for aggressive væsker og jords påvirkning af betonrør fremgår af figuren nedenunder. Værdierne, som er fastlagt ud fra forsøg og erfaringer, anvendes i de fleste europæiske lande. Værdierne er bl.a. angivet i den tyske standard DIN 4030-1:2008-06. De er gældende for en velkomprimeret rørbeton med vand-/cementforhold på 0,35-0,40. De viste påvirkningsgrader fås efter 50 års kontinuerlig påvirkning af spildevand og jord med de viste pH-værdier og koncentrationer.

Ved "**svagt angreb**" forstås et 1-3 mm nedbrudt lag efter 50 års påvirkning. Ved "**moderat angreb**" forstås et 3-12 mm nedbrudt lag efter 50 års påvirkning. Ved høj sulfatpåvirkning bør der anvendes sulfatbestandig cement. Hvis rørbeton tilsættes fx flyveaske i blandingen, vil det øge betonens modstandsdygtighed over for sulfater. Cement med høj sulfatbestandighed benyttes, hvis sulfatindholdet er over ca. 1500 mg/l. I saltvand er sulfatindholdet typisk 100-200 mg/l.

	Ingen angreb	Svagt angreb	Moderat angreb	Stærkt angreb	Meget stærkt angreb
pH-værdi (vand)	>6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	4,5-4,0	<4,0
Aggressiv kulsyre (CO ₂) [mg/l]	<15	15-40	40-100	100 til mætning	-
Ammonium (NH ₄ ⁺) [mg/l]	<15	15-30	30-60	60-100	>100
Magnesium (Mg ₂ ⁺) [mg/l]	<300	300-1.000	1.000-3.000	3.000 til mætning	-
Sulfat (SO ₄ ²⁻) [mg/l]	<200	200-600	600-3.000	3.000-6.000	<6.000
Sulfat (SO ₄ ²⁻) [mg/kg lufttørret jord]	<2.000	2.000-3.000	3.000-12.000	12.000-24.000	-

NEDBRYDNINGSMEKANISMER FOR BETONRØR

Aktuelle nedbrydende mekanismer for betonrør omfatter:

- Udludningskorrosion
- Syrekorrosion
- Svovlbrintekorrosion
- Sulfatkorrosion
- Armeringskorrosion
- Slitage

Hver enkelt af disse mekanismer gennemgås kort i det følgende.

UDLUDNINGSKORROSION

I blødt vand, særligt i kombination med kulsyre, kan dele af cementpastaen opløses og fjernes. Konsekvensen er, at betonrørets yderste lag bliver angrebet og styrken af røret tilsvarende reduceret. Blødt vand og kulsyre forekommer ofte i afløbsvand, men i så små koncentrationer, at beton af god kvalitet ikke påvirkes. Der er kun registreret skader på gamle ledninger af porøs beton.

Hvis betonen har en god tæthed, vil angreb kun forekomme i betonens overflade, og angrebene vil være uden betydning. Moderne betonrør med vand/cement-forhold på 0,35–0,40 har en lav vandpermeabilitet (vandgennemtrængelighed) og kan derfor modstå udludning.

SYREKORROSION GENERELT

Normalt forekommende spildevand har en pH-værdi, som er helt uskadelig for betonrør. Spildevand fra industrier kan ved et uheld indeholde stærkere organiske eller uorganiske syrer. Det kan fx være mælkesyre, saltsyre eller svovlsyre. Alle syrer løsner gradvist betonens bindemiddel i overfladen. Nedbrydningshastigheden for et betonrør er afhængig af syrens pH-værdi, syremængden, syretypen og betonkvaliteten. Kommuner stiller normalt krav til, at industrispildevandet skal have en pH-værdi i området 6,5 til 9. Kortvarige spidsværdier accepteres som regel. Hvis pH-værdierne overholdes, vil moderne betonrør være upåvirkede af industrispildevandet.

SVOVLBRINTEKORROSION

Svovlbrintekorrosion er begrænset til ledninger med spildevand, hvor lang opholdstid og mangel på ilt har medført anaerobe forhold. Angrebsprocessen og beskyttelsestiltag er beskrevet i litteraturen.

(Kilde: DS/EN 206 DK NA:2018: "Beton – Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse – Regler for anvendelse af EN 206 i Danmark", 2018, DIN 4030-1:2008-06: "Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase – Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte", 2008, E. Poulsen m.fl.: "13 betonsygdomme – Hvordan de opstår, forløber og forebygges", Statens Byggeforskningsinstitut, 1985).

Hvis der opstår anaerobe forhold, kan der udvikles svovlbrinte, der sammen med fugt bliver til svovlsyre, som giver en kraftig syrekorrosion. Der er især registreret skader på ledninger efter septiktanke og pumpestationer. Svovlbrinte er uønsket i afløbssystemer. Den forårsager lugtgener, dårligt arbejdsmiljø og tæring af stål, beton og elektrisk udstyr. Svovlbrinte nedbryder desuden SBR-gummitætningspakninger i både plast- og betonrør. Processerne i rensningsanlægene kan desuden hæmmes af svovlbrinte i spildevandet. Der findes flere metoder, som kan begrænse eller helt fjerne risikoen for en svovlbrinteudvikling i såvel nye som i ældre ledninger. Det kan fx være tilførsel af luft til ledningen eller tilsætning af neutraliserende stoffer til spildevandet samt desuden offerrør.

SULFATKORROSION

Betonrør kan udsættes for angreb fra naturlige, aggressive jordbunds- eller grundvandsforhold. Sulfatholdigt jord og grundvand kan tære rørenes yvendige overflade. Undersøgelser af mange ældre rør i Norge har kun afsløret sulfatangreb på få ældre rør af porøs beton.

(Kilde: DS/EN 206 DK NA:2018: "Beton – Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse – Regler for anvendelse af EN 206 i Danmark", 2018.)

Sulfater i reaktion med beton har svelende egenskaber, som kan ødelægge betonmaterialet. Hvis sulfatindholdet i spildevand eller grundvandet er over 600 mg/l, bør der ved fremstilling af rørene anvendes en sulfatbestandig cement. Det gælder også, hvis jordens sulfatindhold er over 3.000 mg/kg tørret jord. Hvis et område vurderes at være sulfatholdigt, bør der for en sikkerheds skyld udtages jord- og grundvandsprøver. Det kan fx gøres, som anvist i DIN 4030-2:2008-06. Sulfatkorrosion opstår også, hvis afløbsvandet har et højt sulfatindhold. Det kan fx forekomme ved afløbsvand fra nogle kemiske industrier. Kommunerne stiller normalt krav til, at industrispildevandets indhold af sulfat er kontrolleret og passende lavt. I Danmark er det sjældent nødvendigt at anvende sulfatbestandig cement til afløbsrør.

ARMERINGSKORROSION

En mindre andel af de rør, der fremstilles i Danmark, er armerede. De anvendes ved specielt store lægningsdybder eller store laster.

Armerede betonrør beregnes i henhold til DS 437. (Kilde: Miljøstyrelsen: "Svovlbrintedannelse og -kontrol i trykledninger", Miljøprojekt nr. 96, 1988). Armeringen i beton korroderer som udgangspunkt ikke, fordi jernoverfladen er passiveret pga. betonens høje pH-værdi. Denne passivering kan dog nedbrydes, hvis der er store revner i betonen, eller hvis betonen ikke er tilstrækkelig tæt.

I spildevandsledninger ligger armeringen typisk godt beskyttet ca. 35 mm inde i betonen. For at armeringen i armerede betonkonstruktioner skal have en virkning, skal betonen være revnet. Der vil således i belastede betonkonstruktioner altid være små revner, der strækker sig fra betonens overflade og et stykke ind i betonen. Størrelsen af disse revner har betydning for risikoen for korrosion af armeringen. Normalt regnes der med, at revnevidden maksimalt må være 0,3 mm i aggressivt miljø.

En af årsagerne til, at revner normalt ikke medfører armeringskorrosion, er, at rev-

ner kan lukkes pga. dannelsen af calciumkarbonat, og at det basiske miljø ved bevares. Denne selvtætnende evne har været undersøgt i mange projekter. Betonens tæthed har også betydning for korrosionssikringen af armeringen. Det skyldes, at beton alt afhængigt af beton-tætheden vil karbonatisere mere eller mindre hurtigt, hvorved det basiske miljø langsomt nedbrydes. Karbonatiseringen starter ved betonens overflade og bevæger sig indad. Indtrængningshastigheden afhænger af betonens tæthed, vand/cement-forhold, styrke og fugtforhold. Beton til armerede tørstøbte betonrør har en trykstyrke på mere end 45 MPa og et v/c-forhold på ca. 0,35. Kombineret med en effektiv komprimering medfører det en meget tæt cementpasta og dermed en beton, der stort set ikke karbonatiserer. I to tidligere gennemførte forskningsprojekter, er der målt karboniseringsdybder på kun ca. 3-5 mm i 30-60 år gamle betonrør – på trods af prøverørens meget svingende betonkvalitet i de to projekter.

Der er aldrig konstateret synlige revnevidder i moderne betonrør.

SLITAGE

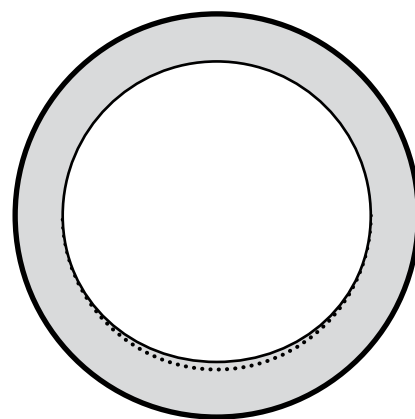
Med kvaliteten af nutidens betonrør har slitage som en levetidsbegrænsende faktor kun historisk interesse.

Skader ses kun på ældre rør af porøs beton.

KONTROLLERET KORROSION

Betonrør kan udmærket anvendes til at transportere spildevand med pH-værdi og koncentrationer af stoffer svarende til de påvirkninger, der er anført ved "Moderat angreb" i tabellen på side 36. Men røret vil, afhængigt af påvirkningen, få et nedbrudt lag indvendigt i vandzonen. For de fleste ledninger har det ingen betydning for rørets funktion. Et 3-12 mm ødelagt lag i vandzonen efter 50 års påvirkning har eksempelvis ingen betydning for et ø700 mm rør med en 192 mm godtykkelse i foden. Et DN200 mm rør,

som transporterer spildevand med pH-værdi og andre koncentrationer af stoffer svarende til de påvirkninger, der er anført under "Svagt angreb", vil have et nedbrudt lag på 1-3 mm efter 50 års konstant påvirkning. Det korroderede lags tykkelse er tyndt i forhold til rørets godtykkelse på 42 mm, og derfor vil røret have en levetid på over 50 år. I hvert individuelt afløbsprojekt vurderes det, om den forventede korrosionshastighed får betydning for rørets bæreevne i den krævede levetid.



4-5 mm nedbrudt beton i vandzonen efter 100 års brug har ingen betydning for et DN500 mm standard betonrør med en godstykkelse på 78 mm.



LIVSCYKLUS FOR RØR OG BRØNDGODS I BETON

Rør og brøndgods i beton bidrager til en bæredygtig fremtid - blandt andet ved at have en forventet levetid på flere hundrede år

INTRODUKTION

I dette afsnit gennemgås en livscyklus for rør og brøndgods i beton fra vugge til grav. Hensigten er at skabe et overblik over de forskellige trin i fremstilling og anvendelse af rør og brøndgods i beton samt give en tilsvarende betragtning ud fra et bæredygtighedsperspektiv.

FORDELENE VED ANVENDELSE AF RØR OG BRØNDGODS I BETON I ET LIVCYKLUSPERSPEKTIV

- På grund af stor geografisk spredning af de danske producenter udgør transport-afstande en relativt lille del af det samlede miljøaftryk
- Produktionen er meget ressourceeffektiv og stort set uden spild. Det spild, der måtte forekomme, vil typisk blive nedknust og anvendt som tilslag i andre betonprodukter
- Kvalitetssikring efter produktion sikrer lang levetid uden behov for udskiftning og dermed store miljømæssige konsekvenser som følge
- Tunge rør i beton har ikke udfordringer med deformationer, reduceret bæreevne og ændringer i de hydrauliske egenskaber, hvilket sikrer funktionsdygtige rør med lang levetid
- Betonrør stiller ikke store krav til komprimeringsmaterialet efter lægning. Derfor kan opgravet materiale fra betongraven ofte genanvendes,



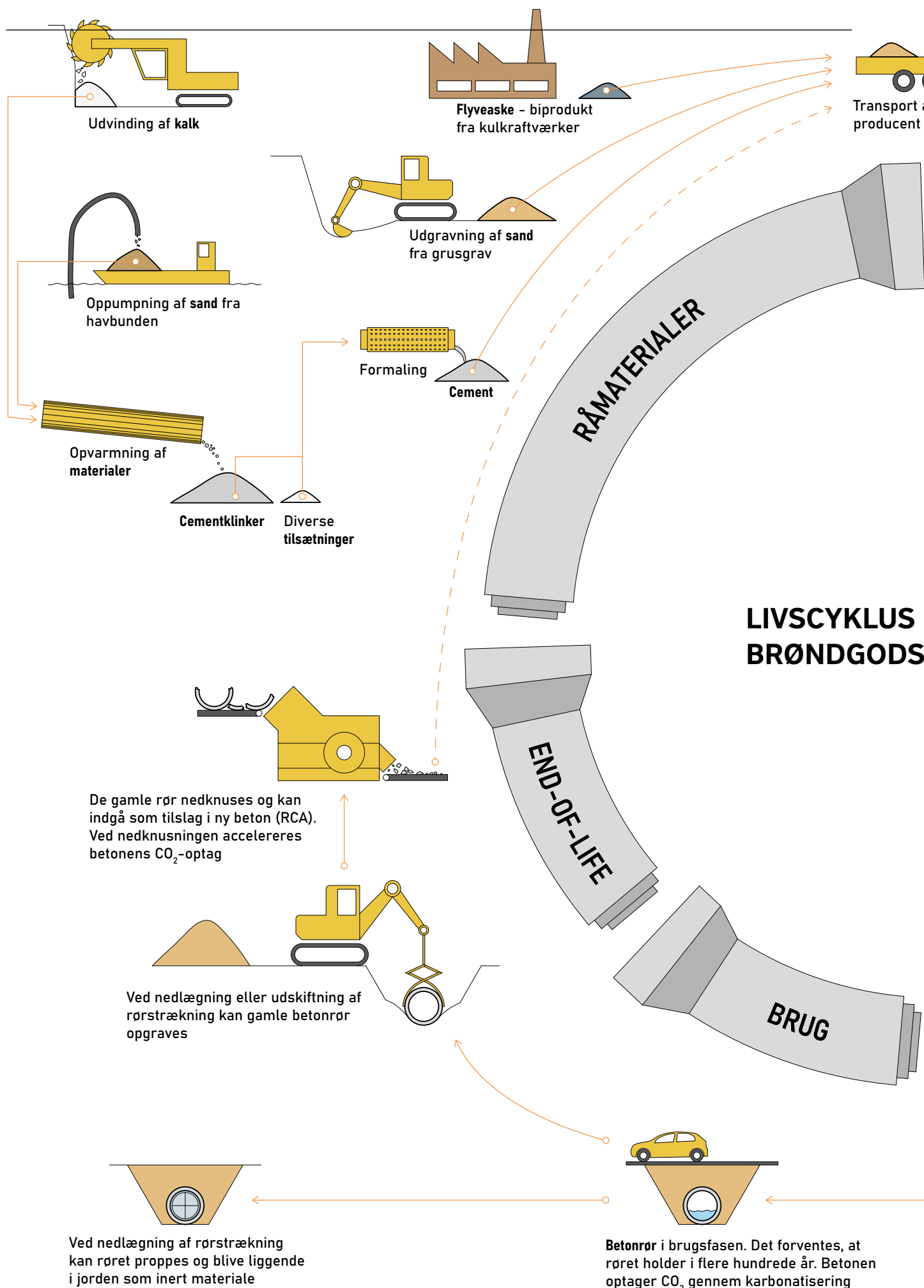
hvilket sparer anvendelse og transport af ressourcemæssige fyldmaterialer til- og fra anlægspladsen

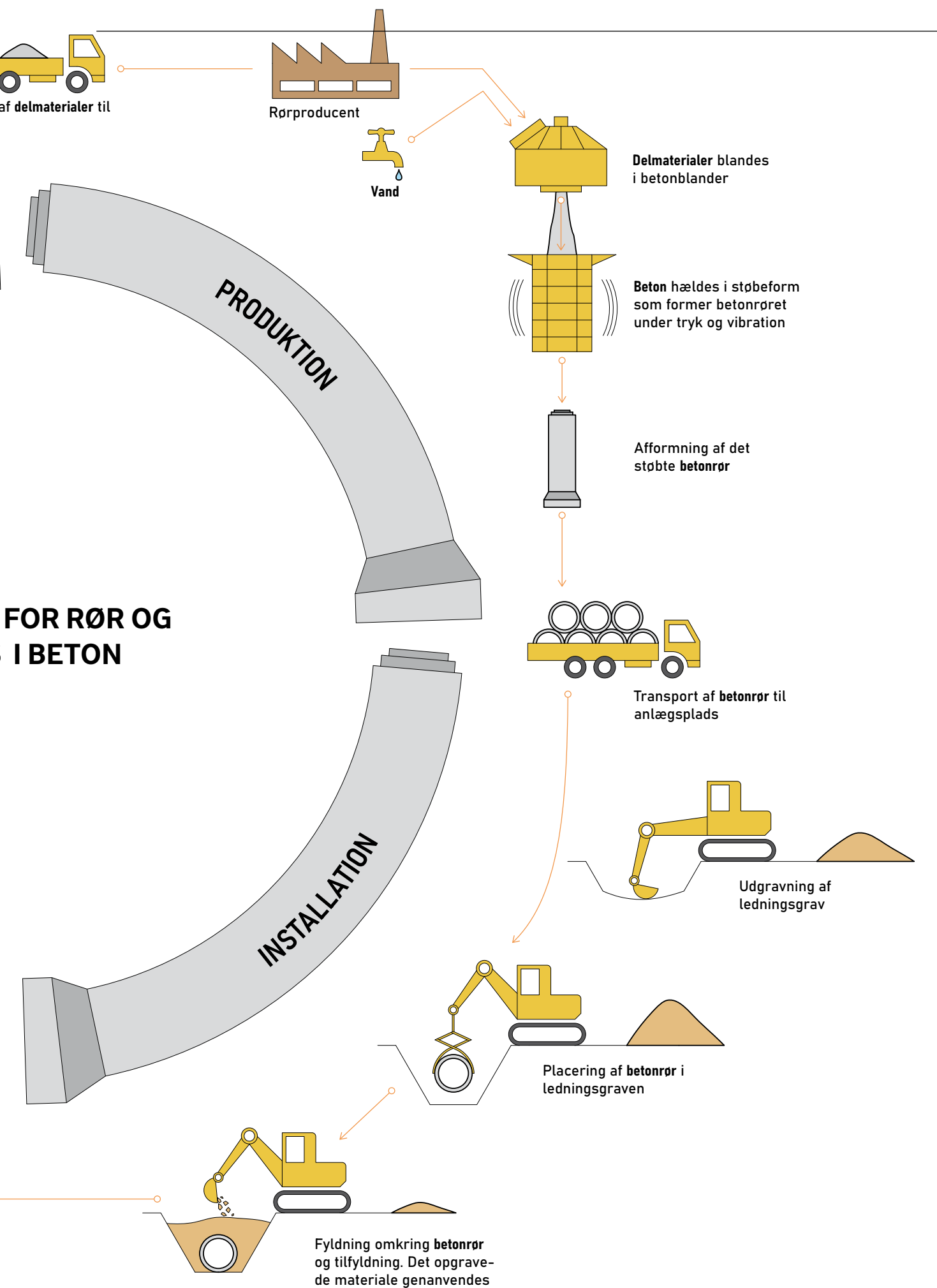
- Under normale brugsforhold er der ikke behov for vedligehold, reparationer, udskiftninger eller renovering af rør og brøngods i beton
- Betonrør forventes at holde i flere hundrede år, hvilket har stor betydning for betonrørs samlede CO₂-aftryk i dets levetid

- Beton fortsætter med at opbygge styrke og tæthed i mange år fremover som følge af den fortsatte hydratisering af ubundne cementkorn. Hertil kommer betons evne til at danne calciumkarbonat som udfylder og tætnet små utætheder i betonen over tid
- Igennem betonens levetid vil beton optage CO₂ fra atmosfæren i en kemiske reaktion, karbonatisering. For betonrør sker dette fra indersiden, og

LCA-beregninger har vist, at der for et betonrør ø1000 vil ske et optag svarende til 1,6 kg. CO₂ pr. meter rør

- Idet beton består af naturlige materialer hjemmehørende i undergrunden, vil de med tiden blot blive en del heraf, når ledningsanlæg nedlægges
- Beton kan også nedknuses og genanvendes som tilslag i ny beton. I denne proces sker endvidere et accelereret CO₂-optag gennem karbonatisering





RÅSTOFINDVINDING OG BEARBEJDNING

Rør og brøndgods i beton fremstilles primært af naturlige råstoffer, som findes i større forekomster i den danske undergrund. De primære råstoffer er kridt, sand, sten og vand. Hertil kommer små mængder flyveaske, tilsætningsstoffer samt materiale til løfteankre og samlinger.

TILSLAG

Sand og sten (tilslaget) udgør i gennemsnit ca. 80% af vægten af beton til rør og brøndgods fremstilling. I Danmark er der store mængder af naturlige tilslag i undergrunden, langs kysterne og på havbunden. I tilslaget er sandet defineret ved kornstørrelser på under 4 mm. De største sten i beton er normalt 16, 22,4 eller 32 mm.

Selvom tilslaget er et naturmateriale med større forekomster, arbejdes der henimod at spare på de jomfruelige materialer ved at anvende nedknust beton til delvis erstatning af jomfrueligt tilslag.

CEMENT

Cement er pulveret, der sammen med vand, danner et bindemiddel, cementpastaen, som kitter sand og sten sammen. Cement består hovedsageligt af kridt, som udgraves i store kridtgrave, samt sand som primært udvindes via sandsugning fra havbunden. Opslæmmes kridt og fintformalet sand opvarmes til ca. 1500 grader, hvormed der dannes såkaldte cementklinker som formales til cementpulver. I processen udledes en mængde CO₂, hvoraf ca. halvdelen kommer fra energi til opvarmningen og den anden halvdel via kalcinering af kalk – en proces hvor kalk brændes og CO₂ frigøres til atmosfæren. Cementen er den primære bidragsyder til betonens samlede CO₂-aftryk, hvorfor mængderne i beton er optimeret til et minimum. Dog er energiforbruget pr. kg. stadig betydeligt lavere end eksempelvis stål og plast, og da cementen til produktion af betonrør kun udgør ca. 14 – 15 % af den samlede vægt, står beton tilbage med et samlet set lavere miljøaftryk.

CEMENTERSTATNINGER

Som en delvis erstatning for cement tilsættes flyveaske i fremstillingen af rør og brøndgods i beton.

Flyveaske, som er et biprodukt fra kul-fyrede kraftværker, kan danne bindemiddel i beton og samtidig har det en række positive egenskaber på både frisk og hærdnet beton, eksempelvis øget tæthed. I betonrør anvendes ca. 1-2 % flyveaske af den samlede vægt. Da flyveaske er et rest-/biprodukt fra kraft- og kraftvarmeverker bidrager det minimalt til endelige miljøpåvirkninger. I betonbranchen arbejdes der på at iblande andre restprodukter, både som delvis erstatning for cement og for at give beton forbedrede egenskaber.

TRANSPORT

Råmaterialerne transporteres til producenten af betonrør- og brønde. De danske producenter har en stor geografisk spredning, og idet råmaterialerne typisk hentes fra lokale råstofindvindinger – og sjældent importeres fra udlandet – udgør transportafstande en relativt lille del af det samlede miljøaftryk.



Kridtindvinding i kridtgraven hos Aalborg Portland

FREMSTILLING AF RØR OG BRØNDGODS I BETON

Fremstilling af rør og brøndgods sker for de fleste produkters vedkommende i en tørstøbningsproces med høj grad af automatisering. Delmaterialerne blandes i betonblander til en tørbeton, også kaldet jordfugtig beton, som er kendetegnet ved et lavt vand-cementforhold omkring 0,35 som giver en meget tæt og stærk beton og dermed også meget lang levetid.

Betonen udtømmes i conveyor system eller tromle som automatisk kan bevæge sig til støbestedet via skinnesystem i produktionshallen. Her udtømmes betonen i støbeformen, der under støbeprocessen komprimerer betonen ved hjælp af vibration og tryk.

Denne støbemetode sikrer formstabilitet umiddelbart efter endt støbning, hvorved støbeformen kan fjernes og er klar til næste støbning. I denne proces opstår der tilnærmelsesvis ingen spild, hvorfor produktionen er meget ressourceeffektiv. Det spild, der måtte forekomme, vil typisk blive nedknust og anvendt som tilslag i andre betonprodukter.

Rør med en diameter større end Ø 2000 mm, dæksler, store brønde og bygværker produceres som regel i støbeforme, som typisk afformes dagen efter støbning. Der anvendes specielle inder- og yderkerner, som kan formindskes eller øges i diameteren for at lette afformningen. Der anvendes ofte selvkompakterende beton, som letter støbearbejdet, da stav- eller formvibratorer undgås.

Drejebrønde fremstilles efter to forskellige teknikker. Støbning efter 3D-model eller manuel tilpasning af rørtilløb og banketter. Støbning efter 3D-model har høj automatiseringsgrad, hvor der indgår flere robotter, fx fræsebotter.



Støbeform til betonrør. Betonen tilsættes hvorefter den komprimeres ved hjælp af vibration og tryk



Umiddelbart efter støbning fjernes støbeformen fra det allerede formstabile betonrør

KVALITETSSIKRING

Efter produktionen foretages visuel inspektion, som skal kvalitetssikre produkterne. Der kigges blandt andet efter stenreder, ensartethed mv. Herudover udføres en række standardiserede tests på udvalgte produkter, herunder tæthedsprøvning og belastningsprøvning.

Selvom der sjældent forekommer defekter på betonprodukterne, er det helt afgørende, at eventuelle defekte produkter kan sorteres fra, så de ikke ender i jorden, hvor en udskiftning kan få større økonomiske og miljømæssige konsekvenser.

MILJØVAREDEKLARATIONER

Der findes opdaterede miljøvaredeklARATIONER på betonrør på Dansk Beton, Betonvareforeningens hjemmeside. Disse er værdifulde værktøjer for bygherrer, rådgiver og entreprenører til at vurdere og sammenligne bæredygtige løsninger i fremtidige bygge- og anlægsprojekter.

TRANSPORT

Efter produktion og hærdning transporteres betonprodukterne til anlægspladsen. Betonprodukter til afløbssystemer er tunge sammenlignet med eksempelvis produkter i plast og stål, og der indgår derfor et større energiforbrug hertil. Dette opvejes dog til dels af, at eksempelvis afløbssystemer i plast typisk skal fragtes over længere afstande.



Gennemgang og kvalitetssikring af betonrør

UDLÆGNING

Ved udlægning af betonrør udføres udgravningen af ledningsgraven med grave-maskine til den anviste dybde. Ledningsgraven gøres så smal som muligt, dog stadig med plads til det efterfølgende komprimeringsarbejde af omkringfyldningen og tilfyldningen.

Ledningsgravens nederste lag, kaldet ledningszonen, opbygges af et udjævningslag, hvorpå betonrøret anlægges. Stive og stærke rør i beton påvirkes ikke af de uundgåelige, mindre forskelle i udjævningslagets og råjordens stivhed/planhed, hvilket sikrer mere rette ledninger og optimale betingelser for vandførings- og selvrensningsevne.

Ovenpå udjævningslaget etableres omkringfyldningen, som dækker hele røret mindst 0,1 m over rørtoppen. Ovenpå ledningszonen etableres tilfyldningen til terræn, hvorpå der kan etableres eventu-

el befæstelse. Alle lag komprimeres, for at sikre den nødvendige kvalitet. Et forholdsvis tungt rør som betonrør løftes eller sideforskydes sjældent pga. komprimeringen. Betonrøret ligger stabilt i rørgraven, hvilket modvirker lunger skabt under komprimeringen. Disse forhold gør det typisk nemmere for entreprenøren at arbejde med denne type rør og sikrer samtidig et funktionsdygtigt rør med lang levetid. Der udføres typisk tæthedsprøvning efter udlægning som en sidste kvalitetssikring.

Livcyklusanalyser har vist, at råvarefasen og lægningsfasen udgør betydende faser i det samlede livsforløb for både afløbskomponenter af plast og beton. Generelt viser det sig for små og mellemstore afløbskomponenter af både beton og plast, at der er et betydeligt energiforbrug forbundet med lægningsfasen, specielt i forbindelse med indvinding og transport

af fyldmaterialer. Det er derfor afgørende for det samlede energiforbrug, at det opgravede fyldmateriale så vidt muligt genanvendes.

Forudsætningen er, at de kan komprimeres forsvarligt. For betonrør må der benyttes tungt komprimeringsmateriel til komprimering over centerniveau. Det gør det lettere at opnå den krævede komprimering, og det giver mulighed for nemmere at genbruge opgravet materiale omkring betonrør. Når der kan komprimeres med tungt materiel, kan kravene til maksimal kornstørrelse og uensformighedstal fraviges - dog må stenstørrelser over 64 mm ikke forekomme. Betonrør giver derfor typisk større miljømæssige og økonomiske besparelser sammenlignet med afløbssystemer i plast, da der skal fragtes betydeligt mindre fyldmaterialer til- og fra anlægspladsen.



Udlægning af betonrør i ledningsgrav

BRUGSFASEN

Når rør og brøndgods er korrekt installeret, vil der under normale brugsforhold ikke være behov for vedligehold, reparationer, udskiftninger eller renoivering. Dog kan betonrør svækkes i tilfælde af store, vedvarende forekomster af syre fra spildevand. Syreholdigt spildevand bør dog normalt ikke forekomme i spildevand – kun hvis industrier har større udslip.

RUHED

I mange lande defineres vandføringsevnen, ruheden ens for beton, ler og plast-rør, idet selve rørmaterialet ikke har nævneværdig indflydelse på driftsruheden i praksis. Her har lægningskvaliteten langt større betydning.

LEVETID

Selvom betonrør er designet til at kunne holde i mindst 100 år, er der flere eksempler på betonrør, som er langt over

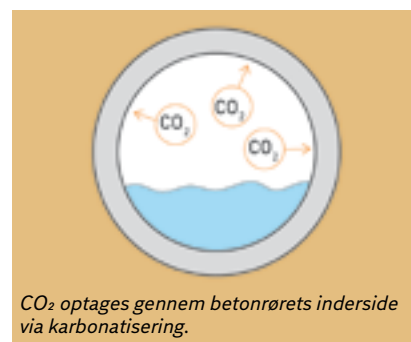
100 år, og er i så god stand, at det må forventes, at de kan holde meget længe-re. I kombination med nutidens stærke-re beton og kvalitetssikrede produktion, må det forventes, at nyere rør kan holde langt udover den definerede levetid. Dette har naturligvis en stor betydning for betonrørs samlede CO₂-aftryk.

Der er flere årsager til, at betonrør typisk vil holde i flere år end foreskrevet. Betonrør er formstabile gennem hele dets levetid, og der opstår dermed ikke udfordringer med deformationer, reduceret bæreevne og ændringer i de hydrauliske egenskaber gennem rørets levetid. Hertil kommer, at betonen ikke udsættes for to af de mest hyppige nedbrydningsmekanismer; afskalninger og nedbrydning forårsaget af frost og armeringskorrosion. Et andet forhold er, at beton fortsætter med at opbygge styrke og tæthed i mange år fremover som følge af den fortsatte hydratisering af ubundne cementkorn. Hertil kommer betons evne til at udvikle

større tæthed med tiden, idet dannelsen af calciumkarbonat udfylder og tætnet små utætheder i betonen over tid.

CO₂-OPTAG I BRUGSFASEN

I gennem betonens levetid vil det optage CO₂ fra atmosfæren i en kemiske reaktion, karbonatisering. For betonrør sker dette fra indersiden, og LCA-beregninger har vist, at der for et betonrør $\varnothing 1000$ vil ske et optag svarende til 1,6 kg. CO₂ pr. meter rør.



EFTER ENDT LEVETID

Rør og betongods i beton er typisk designet til at holde i minimum 100 år. Med over 100 års erfaring i anvendelse af betonrør samt de i dag anvendte produktionsmetoder kan korrekt monterede og projekterede regnvandsledninger forventes at have en levetid på op til flere hundrede år.

NEDLÆGNING AF RØRSTRÆKNINGER

I forbindelse med nedlægning af rørstrækninger, foretages der typisk en afpropning af rørene, hvorefter de efterlades i jorden som inert materiale. I det beton består af naturlige materialer hjemmehørende i undergrunden, vil de med tiden blot blive en del heraf.

GENANVENDELSE

I nogle tilfælde skal rørene opgraves og fjernes, eksempelvis hvis der skal lægges nye rør i samme ledningstracé. I dette tilfælde vil betonen blive nedknust og anset som en ressource, som kan anvendes som genanvendt betontilslag (RCA) til produktionen af nye produkter i beton. På den måde vil betonen indgå i et cirkulært kredsløb, hvor der kan spares på jomfruelige materialer. I tilfælde af nedknusning vil der endvidere ske et kraftigt accelereret CO₂-optag gennem karbonatisering som følge af den forøgede, eksponerede betonoverflade. Potentielt kan betonen optage ca. 60 procent af den CO₂, der frigives ved brænding af kalk i forbindelse med cementproduktionen.





LITTERATURLISTE

- DS/EN 1916: 2004:
"Betonrør og formstykker, uarmerede, armerede og med stålfibre".
- DS 2420-1: 2008:
"Betonrør og formstykker, uarmerede, armerede og med stålfibre.
Supplement til DS/EN 1916".
- DS/EN 1917: 2004:
"Betonnedgangs- og inspektionsbrønde, uarmerede, armerede og med stålfibre".
- DS 2420-2: 2008:
"Betonnedgangs- og inspektionsbrønde, uarmerede, armerede og med stålfibre, supplement til DS/EN 1917".
- "Abfluss in Entwässerungsleitungen unter besonderer Berücksichtigung der Fließvorgänge in teilgefüllten Rohren"
Manfred Sauerbrey. 1969.
- Leif Linde m.fl:
Afløbsteknik. 5. udgave 2006.
Polyteknisk forlag.
- Inge Faldager m.fl.:
"Afløbsledningers vandføringsevne og selvrensningsevne". Teknologisk Institut, 1982.
- DS 432: 2009:
"Norm for afløbsinstallationer".
- DS 475: 2012:
"Norm for etablering af ledningsanlæg i jord".
- DS 437: 1986: (rettet 2012-udgave):
"Norm for lægning af stive ledninger af beton mv i jord".
- DS 455: 1985:
(rettet 2012-udgave) "Norm for tæthed af afløbssystemer i jord".
- "Fotomanualen-TV-inspektion af afløbsledninger" DANVA, Vejledning nr. 57, 2015.
- Acceptkriterier 1-3, Rørcenteranvisning 008, 2005.
- "Concrete Pipe Handbook",
American Pipe Association, 1998.
- "Beton-Bogen", 2. udgave, CtO, Aalborg Portland, Aalborg, 1985.
- "Self-Healing in Cementitious Materials – A Review", Kim Van Tittelboom and Nele De Belie, Materials, 2013 (6), pp. 2182-2217.
- "Wasserdurchlässigkeit und Selbstheilung von Trennrissen in Beton", Carola Katarina Edwardsen, DAF Stb, Heft 455 Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Berlin, 1996.
- DS/EN 206 DK NA: 2018:
"Beton - Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse - Regler for anvendelse af EN 206 i Danmark", 2018.
- Miljøstyrelsen: "Nedsivning af spildevand i bassinanlæg ved Frederiks – Forundersøgelser". Miljøprojekt nr. 2, Miljøstyrelsen, 1976.
- DIN 4030-1: 2008-06:
"Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase – Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte", 2008.
- E. Poulsen m.fl.:
"13 betonsygdomme - Hvordan de opstår, forløber og forebygges", Statens Byggeforskningsinstitut, 1985.
- S. Særgrov:
"Tilstand og tilstandsendring for betongavløpsledninger", Doktor ingeniørahandling 1992:21, Institut for Vassbygging Trondheim, 1992.
- "Beton i aggressivt miljø", Beton-teknik, CtO, Aalborg, 1974.
- Miljøstyrelsen:
"Svovlbrintedannelse og -kontrol i trykledninger", Miljøprojekt nr. 96, 1988.
- "Betonrørs holdbarhed", Beton-teknik, CtO, Aalborg, 1982.
- "Tilstandsvurdering af ældre betongrør", BLF, Norge, 1992.
- DIN 4030-2: 2008-06:
"Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase - Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben", 2008.
- F. Lapertis:
"Bedømmelse af betonafløbsledningers restlevetid", Erhvervsforsker - ph.d.-afhandling EF 626, Akademiet for de Tekniske Videnskaber, 1999.
- Naturstyrelsen:
"Udvikling af modstandsdugtige betonrør til aggressive miljøer", 2015.





Dansk Beton, Betonvareforeningen i DI Byggeri

H. C. Andersens Blvd. 18 | 1553 København V | Tlf. 3377 3377 | danskbeton@di.dk | danskbeton.dk

Redaktion: Inge Faldager | Foto: Torben Eskerod, Dansk Byggeri, Hawkeye Pedershaab og IBF

Layout: Brøndum layout | ISBN: 978-87-92008-48-0 | 2. udgave: Januar 2022