

Rapport nr 6

BETONG OG MILJØ

En artikkelsamling

Forbehold om ansvar

Denne rapporten fra Norsk Betongforening er utarbeidet av en arbeidsgruppe sammensatt av fagpersoner utnevnt av foreningen. I prosessen med utarbeiding av rapporten er det lagt vekt på å sikre at innholdet er i samsvar med kjent viten og de standarder som var gjeldende da arbeidet ble avsluttet.

Noen feil eller mangler kan likevel forekomme.

Norsk Betongforening forutsetter at rapporten brukes av personer med den nødvendige faglige kompetansen, og med forståelse for de begrensningene og forutsetningene som er lagt til grunn. Feil tolking og bruk av innholdet i rapporten er ikke Norsk Betongforening sitt ansvar.

Norsk Betongforening og medlemmer i arbeidsgruppen, har ikke ansvar for direkte eller indirekte følger av eventuelle feil eller mangler i publikasjonen, eller bruken av innholdet i publikasjonen.

Innholdsfortegnelse:

1. Forord	side 4
2. God arkitektur varer lenge	side 5
3. Utnyttelse av termiske egenskaper i betong for redusert energibruk.....	side 6
4. Nye sementtyper og ny produksjonsteknologi skaper fremtidens betong	side 8
5. Å bruke materialer smartere gir lavere klimagassutslipp	side 10
6. Lydegenskaper	side 12
7. Karbonatisering	side 14
8. Resirkulering og gjenbruk av betong.....	side 16
9. Kalkholdige restprodukter fra betongproduksjon - et nytteprodukt i landbruket	side 18
10. Permeable dekker	side 19
11. Betong og stråling.....	side 21
12. Moderne betongfabrikker fremmer sirkulærøkonomien	side 22

Denne tekstboksen fulgte alle artiklene i Byggeindustrien.

Norsk Betongforenings miljøkomite – temaartikler om betong og miljø

Norsk Betongforenings miljøkomité ønsker å spre kunnskap rundt temaet betong og miljø. Komiteen har bedt fagfolk i bransjen ta for seg sentrale miljøaspekter med betong og presentere disse i en serie artikler. Denne er den første i serien og belyser at god arkitektur er god ressursbruk. Dette er en av de viktige egenskapene til betong.

Norsk Betongforening arbeider aktivt for å vise betongens betydning og muligheter i for-

hold til ulike miljøutfordringer. Miljøkomitéen baseres på dugnadsinnsats og har en koordineringsrolle mot en felles betongbransjes aktiviteter. Dyktige og engasjerte medlemmer har initiert, diskutert og skrevet artikler om utvalgte miljøtemaer.

NBs miljøkomité har til nå utarbeidet fire rapporter der norske forskningsmiljø er brukt aktivt til nødvendig utrednings- og utviklingsarbeid.

Sommeren 2016 ferdigstilte miljøkomiteen en kortfattet miljøbrosjyre – «Visste du dette om betong og miljø?» Et utvalg emner er belyst på en lettfattelig måte, som både skal opplyse og engasjere så vel arkitekter, byggherrer og rådgivende ingeniører, samt andre med interesse. Rapportene og brosjyren kan lastes ned gratis på www.betong.net.

«Visste du dette om Betong og Miljø» – Artikkelsamling

Forord

Brosjyren «Viste du dette om Betong og Miljø» ble utgitt av Miljøkomiteen høsten 2015. Denne ble veldig godt mottatt av bransjen og er også trykket opp i et opplag nr. 2. I etterkant av utgivelsen har Miljøkomiteen fått laget artikler på flere av hovedtemaene fra brosjyren. Disse artiklene har gått mer i dybden og har alle stått på trykk i Byggeindustriens papirutgaver i løpet av 2018.

Med unntak av tre artikler, er alle artiklene forfattet av fagekspert utenfor Miljøkomiteen, men er skrevet på oppdrag for Miljøkomiteen. Innholdet i artiklene står derfor for de respektive forfatteres ansvar. Miljøkomiteen mener denne serien med artikler representerer mye nyttig kunnskap og informasjon om betong og miljø, som kan komme til nytte for byggebransjen. Komiteen anser det derfor viktig å få publisert artiklene, også samlet i en rapport.

Artiklene i denne rapporten er gjengitt slik de har stått på trykk i Byggeindustriens papirutgaver.

Oslo, 04.10.2018

Miljøkomiteen i Norsk Betongforening består av følgende medlemmer (pr. oktober 2018):

Thomas Beck,
Normet Norway AS (Leder)

Christian K. Sandvik,
Norconsult

Jan Eldegard Hjelte,
FABEKO

Knut Bryne,
Tekna (Sekretær)

Knut O. Kjellsen,
Norcem AS

Agnar Løbakk,
Unicon AS

Gunrid Kjellmark,
SINTEF

Steinar Røine,
Spenncon AS

Stefan Jacobsen,
NTNU

Hedda Vikan,
Statens vegvesen

Marianne Rødby,
NorBetong AS

Gudmund Stenseth,
Oslo Works AS

Per Jahren,
P.J. Consult AS

Liv-Margrethe Bjerger,
Norcem AS

God arkitektur varer lenge

Varig og robust betong har stor betydning for god ressursbruk og bevaring av samfunnsinteresser.

Jan Eldegard Hjelte
Daglig leder i FABEKO

«Snart elsker alle betong» skrev byforsker og førsteamanuensis Erling Dokk Holm ved Høyskolen Kristiania i et innlegg i Dagens Næringsliv. Betong i kulturdebatten er aktuelt som aldri før med en langvarig diskusjon rundt den eventuelle rivningen av bygg i Regjeringskvartalet. Vi har betongkulturskatter som Ekebergrestauranten, gjenåpnet i 2005, og kraftstasjonen i Suldal med sin karakteristiske UFO-form som er bygget om til hotell. I Norges nye verdensarvområde mellom Notodden og Rjukan ligger nærmere 100 betongbygg som er vernet. Bygges det riktig vil man ha konstruksjoner med lang levetid og unngå kostbare og miljøbelastende vedlikeholdsarbeider.

Produksjon av betong krever energi og medfører utslipp av CO₂. Med riktig prosjektering og design vil kvalitetstilpassing av byggeverk kunne redusere de totale miljøbelastningene, også med tanke på endret bruk i fremtiden. Betong har gode forutsetninger for holde både styrke og utseende over tid og kan motstå de fleste langtidsbelastninger på en god måte. Valg av bestandige materialer gir store gevinster i vedlikeholdsbudsjettet, som igjen vil redusere byggets totale utslipp, ressurs- og energibruk. Smartere design og prosjektering utnytter materialene mer effektivt og fører til redusert materialforbruk og dermed bedre miljøprofil for de ferdige byggenes og anleggskonstruksjonene.

Vi ser imidlertid en farlig forenkling i samfunnets syn på hva som er bærekraftig utvikling. Bærekraft knyttes ofte ensidig mot miljø, og miljøforhold knyttes enda oftere kun til klimagassutslipp fra råmaterialer. Enkelte står faktisk fram og prediker denne suboptimalisering, og dette er farlig for samfunnsutviklingen og en avsporing av arbeidet for miljøvennlig bygging, som jo alle forventer også skal være bærekraftig.

Når det gjelder kommunale bygg kan det som er kalt kortsiktighetens tyranni gjøre at beregninger av kostnader for framtidig vedlikeholdsbehov nærmest neglisjeres som følge av de diskonteringsreglene som benyttes. Svært mange kommunale bygg ikke har verdi i balansen til norske kommuner. De «skrives av» når de er ferdigstilt. I private bygg (blant annet boligene våre) ligger



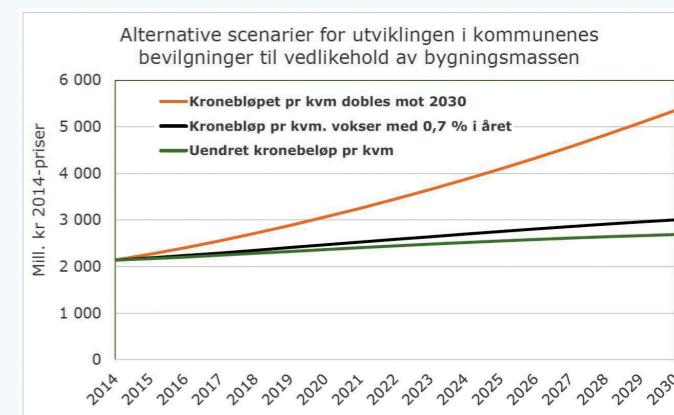
Hotell 33 i Oslo.

Foto: Ole H. Krokstrand/Byggutengrenser

verdien inne og byggene må vedlikeholdes jevnt for at de eventuelt skal kunne selges senere uten at vi må ta tap. Dersom en ikke regner med denne lønnsomheten med vedlikehold, vil det for mange kommuner lønne seg at byggene forfaller, rives og bygges nye igjen. Da flyttes kostnadene fra drift over til investeringer/bevilgninger. En slik kortsiktighet kan man frykte fører til at samfunnet bygger framtidige vedlikeholdsbomber.

Det som kjennetegner mange av innspillene i media, er at noen materialer framheves som å være mye bedre enn andre med hensyn til bærekraft og miljø. Når vi ser resultatene fra sammenlignende undersøkelser, finner vi imidlertid at det ikke er mulig å trekke slike konklusjoner. Det er måten produktene (som ikke er det samme som materialer) benyttes på som avgjør, ikke produktene alene. Og organisk er ikke det samme som miljøvennlig. Det er et selvsagt ansvar for alle aktørene i byggebransjen å planlegge for langsiktighet og bærekraft. Dette innebærer arkitektur og byggeteknikk som ivaretar både miljøforhold og lønnsomhet i byggets levetid. Valg av varige og robuste betongløsninger har stor betydning for god ressursbruk og bevaring av samfunnsinteresser.

Ifølge en rapport fra Prognosesenteret i 2016 må norske kommuner øke kostnader til vedlikehold fra dagens 2,1 milliarder kroner per år til 5,4 milliarder kroner per år i 2030 for å ta igjen etterslepet i vedlikehold. Dette vil skje i en situasjon der mange andre kommunale oppgaver står i kø og vil slåss om midler. Byggenes planlegges for 25-50 års levetid mens mange i dag



Utdrag fra rapport fra Prognosesenteret for Byggutengrenser 2016.

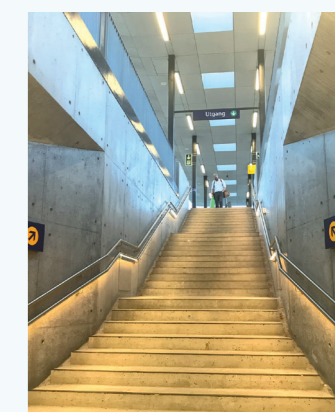
er 80 år og eldre. Det er lettere å utsette vedlikehold av en skole enn ikke å ha plass til de elevene som står ved døren og venter. Denne rapporten er tilgjengelig på www.byggutengrenser.no

En fasade i betong kan stå i 100 år med lave eller ingen vedlikeholdskostnader dersom den er prosjektert korrekt.

Med et stadig tøffere klima blir robusthet mot nedbør, vind og andre belastninger enda viktigere. Bygg av betong råtner ikke og står mot både naturens krefter og andre ekstreme belastninger. I storm og uvær er faktisk byggenes vekt og stabilitet viktig. I år 2100 vil de fleste bygg vi oppfører i dag være i bruk, og 2.1 millioner av disse norske byggene vil ha høy råterisiko. Dette må tas hensyn til i prosjekteringen av nye bygg og ved ombygging. En lang rekke svært gamle norske betongbygg dokumenterer levetidsegenskapene til de mineraliske byggematerialene.

En stor del av den varige norske

nasjonalformuen er bygget med betong. Noen eksempler er veier, tunneler og broer, energiforsyning, avløpsystemer, olje- og gassproduksjon, bygg for helsevesenet, offentlig forvaltning og forsvar samt leiligheter. Listen er lang, og det er ikke tilfeldig!



Stabekk stasjon.

Foto: Jan Eldegard Hjelte

Utnyttelse av termiske egenskaper i betong for redusert energibruk

Norsk Betongforenings Miljøkomité presenterer her en artikkelserie i Byggeindustrien for å spre kunnskap rundt temaet betong og miljø.

Gunrid Kjellmark
(forskningsleder),
Matthias Haase
(seniorforsker) og
Anders Homb
(seniorforsker)
SINTEF Byggforsk

Denne er den 2 i en serie artikler utarbeidet av Norsk Betongforening i samarbeid med fagfolk i bransjen som tar for seg sentrale miljøaspekter ved betong. I denne artikkelen vil vi belyse hvordan de termiske egenskapene til betong kan utnyttes for redusert energibruk i bygg.

Norsk Betongforening arbeider aktivt for å vise betongens betydning og muligheter i forhold til ulike miljøutfordringer. Miljøkomiteen baseres på solid dugnadsinnsats og har en koordineringsrolle mot en felles betongbransje sine aktiviteter. Dyktige og engasjerte medlemmer har initiert, diskutert og gjennomført aktiviteter for et utvalg miljøtema. Miljøkomiteen har til nå utarbeidet 4 rapporter der norske forskningsmiljøer er brukt aktivt til nødvendig utrednings- og utviklingsarbeid.

Sommeren 2016 ferdigstilte Miljøkomiteen en kortfattet miljøbrochure – «Visste du dette om betong og miljø?» Et utvalg emner er belyst på en lettforståelig måte, som forhåpentligvis både opplyser og engasjerer så vel arkitekter, byggherrer og rådgivende ingeniører, samt andre med interesse. Rapportene og brosjyren kan lastes ned gratis på www.betong.net.

Prinsipper for utnyttelse av termisk masse

Termisk tunge konstruksjoner virker som lager for varmeenergi (energireservoar) når det produseres overskuddsvarme i et bygg, som fra soloppvarming, belysning, mennesker i rommet og teknisk utstyr i drift. Denne varmen frigjøres når temperaturen i bygget synker. Energireservoarets egenskaper avhenger av materialets evne til å (1) holde på varme (varmekapasitet), (2) lede varme (konduktivitet) og (3) hvordan varmekapasitet og konduktivitet harmonerer med døgnsyklusen til utetemperatur.

Mineralull leder og binder varmen dårlig, og lagrer derfor ikke varme. Stål har god termisk kapa-



Sparebank 1, Trondheim.

sitet, men leder også varme godt, så konstruksjonen vil kjøles raskt ned igjen. Tre har også relativt god termisk kapasitet, men leder varmen dårlig og responderer derfor for sakte på temperaturvariasjoner. Betong har god termisk kapasitet og gjennomsnittlig varmeledningsevne, og har derfor en kombinasjon av egenskaper som gjør materialet godt egnet for lagring av varmeenergi.

De termiske egenskapene utnyttes best i bygg hvor det er en syklus med temperaturforandringer gjennom døgnet, slik som i skoler og kontorbygg der bruken av bygget sammenfaller med tiden på døgnet hvor det er høyest utetemperatur og solbelastning. Det er først og fremst med tanke på kjøling av bygget at termisk masse gir utslag i energiregnskapet. Betongens termiske treghet kan utsette kjølebehovet til kvelden, når kjølig natteluft kan brukes til å kjøle ned eksponert betong, og dermed gjøres klar til å absorbere mer varme dagen etter. Dette kan gjøres ved hjelp av naturlig ventilasjon (åpning av vinduer/luker) eller ved hjelp av mekanisk kjøling. I samspill med prognosestyrt kontroll av temperaturen i betongen kan man optimalisere utnyttelsen av solvarme, aktivt og passivt.

Forutsetninger for at termisk masse skal kunne utnyttes til kjø-

ling av bygninger er at den termiske massen er eksponert mot de rom som har kjølebehov, den ligger innenfor isolasjonssjiktet, den kan eksponeres for kjølig natteluft gjennom naturlig eller mekanisk ventilasjon og den kan aktiveres, enten med luft eller med vann (TABS)

Effekten av termisk masse

Betongens termiske egenskaper utnyttes optimalt når inneluft kommer i direkte kontakt med betongoverflaten. Aktiv utnyttelse av den termiske massen omtales gjerne som et termo-aktivt system. I næringsbygg er det spesielt etasjeskillerne som utnyttes på denne måten. Det er også mulig å utnytte potensialet i yttervegger og heissjakter, men dette veggarealet blir ofte lite i forhold til byggets bruksareal.

Utnyttelsesgraden avhenger av flere faktorer, deriblant massens plassering i rommet, vindusarealet, overflatematerialer og ventilasjonsteknisk løsning. Videre er god styring av oppvarming, ventilasjon, solavskjerming og nattkjøling avgjørende for at betongens termiske egenskaper skal redusere energibehovet. Noen beregninger har vist at man kan oppnå 5-15% og 20-50% redusert energibehov for henholdsvis oppvarming og kjøling [1] og [2].

De største utfordringene for innemiljøet oppstår i de varme sommermånedene da stor varmebelastning fra belysning, data-maskiner og annet teknisk utstyr sammen med soloppvarming fra vindusflater bidrar til oppvarming av bygningen. Da kan man ha god nytte av termisk masse for å ta toppene. Det er også mulig å utnytte termisk energi effektivt på vintertid, men det krever at bygningen er godt isolert, samt at man må unngå kuldebroer [3].

Utfordringer med eksponert betong og lydtekniske krav

En stor utfordring med eksponert betong er å finne praktiske løsninger som gir tilstrekkelig lydabsorpsjon i rommet. I Norge er kravene til lydabsorpsjon i kontorlokaler strenge, gitt av krav i byggeforskriften. Dette skiller oss fra de fleste andre europeiske land som ikke har tilsvarende krav til akustisk regulering av kontorlandskap. Generelle utfordringer er støykilder i det lavfrekvente området, fra f.eks. tekniske installasjoner, trinnyl fra naborom, mannsstemmer, osv.

Problemstillingen har blitt studert i noen norske prosjekter med fokus på naturlig ventilasjon og energilagring i byggene, samt at kombinasjoner av eksponert betong og ulike absorberende er undersøkt [4], [5], [7].

Prosjekteksemppler

“Lysgården” på Sluppen, Trondheim

Byggherre R Kjeldsberg satte opp dette kontorbygget i 2015. Uponor leverte og K. Lund installerte termisk aktive bygningselementer (TABS). I systemet blir vannrør integrert i betongen i etasjeskillerne. Når bygget har oppvarmingsbehov har væskestrømmen en overtemperatur i forhold til konstruksjonen, og når bygget har et kjølebehov sirkuleres væske med lavere temperatur. Uponor bruker systemet i andre Europeiske land (f.eks. Tyskland og Belgia) men det er relativt nytt i Norge. Systemet gir vesentlig lavere energiforbruk sammenlignet med tilsvarende bygg, både for oppvarming og kjøling [2].

Utfordringer med TABS og varmetransport/styring

- Dokumentere energibesparelsen i det konkrete byggeprosjektet. Reelle tall fra forskjellige bygningskonstruksjoner mangler.

- TABS-konseptet har størst effekt i en kjølefase. Vil en laminær strømning i rørene gi enda bedre effekt?

- Brukere har forskjellig oppfatning av komfort og hva som er akseptabelt. Bekledningen er avgjørende, så den må være en variabel.

- Lydabsorbenter påvirker kjøleeffekten i stor grad på grunn av varmeledningsevnen til materialet. Dokumentasjon av gode løsninger på dette området mangler.



Powerhouse Kjørbo

Powerhouse Kjørbo

Powerhouse Kjørbo, i Sandvika har vært et av flere pilotbygg i forskningssenteret ZEB (Zero Emission Buildings). Powerhouse Kjørbo var et ordinært kontorbygg fra 1980-tallet, bestående av to kontorblokker, som ble transformert til en moderne bygg som produserer mer energi enn det bruker .

Det ble blant annet gjort mange tiltak for å redusere kjølebeho-

vet i bygget, og i tillegg til effektiv solavskjerming, frikjøling og nattkjøling av bygget, var utnyttelse av eksponert termisk masse viktig. For å oppnå ønsket effekt, måtte 40% av alle betongoverflater være eksponert, slik at betongdekkene kunne utnyttes som termisk masse og bidra til å regulere svingningene i innendørstemperatur og redusere kjøle- og oppvarmingsbehovet. Dette, sammen med andre tiltak, som isolering, fornying av ventilasjonssystem, varmepumpesystemer og utnyttelse av solenergi, førte til at energibruken i bygget ble redusert med 90 %.

Brukerne av bygget har gitt gode tilbakemeldinger på innemiljøet så langt, men det er noen utfordringer knyttet til eksponert betong og lydforhold.

Sparebank 1, Trondheim

SpareBank 1 SMN Midt-Norge har etablert nytt hovedkontor og samlet hele konsernets aktivitet i sentrum av Trondheim. AGraff var ansvarlig arkitekt og Teknobygg AS var hovedentreprenør.

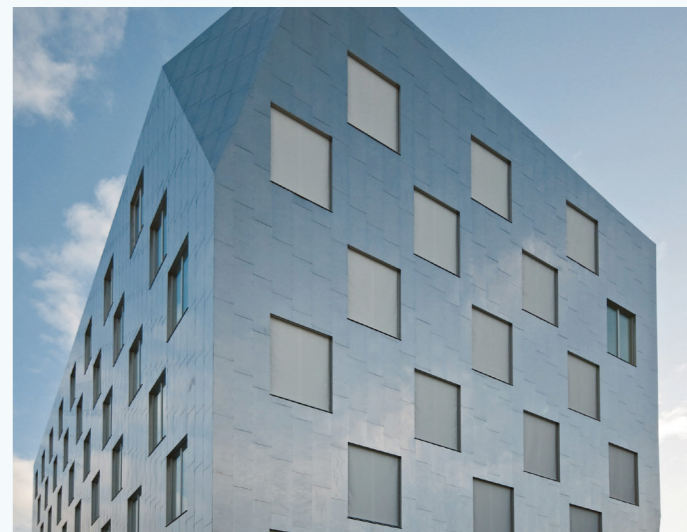
De ambisiøse energimålene i dette prosjektet er oppnådd gjennom bygningsintegreerte passive løsninger. Nøkkelen til et lavt varmetap lå i en helt tett fasade med 300 mm isolasjon og begrensede vindusåpninger. Energi til romkjøling i nybygget er eliminert ved bruk av eksponert betong i himling, god solavskjerming og reflekterende glass i vinduer og glassfasader. Utjevning av temperatur gjennom døgnet med eksponerte betongdekker, energibesparende utstyr og godt dagslys har bidratt til ytterligere energireduksjon [8].

Hele bygget har hybrid ventilasjon med høyeffektiv varmegjenvinning. Tiltak tilføres via gulvventiler. Den eksponerte betongen i taket virker på dagtid som en kjørende flate. Ventilering om natten lader ut konstruksjonen, og gjør at kjølebehovet reduseres.

Lysarmaturer har dagslystyring og er i tillegg behovsstyrt via tilstedeværelsesdetektorer. Det er automatisk utvendig solavskjerming på alle solvendte fasader for å unngå varmeoverskudd fra sola. I kontorareal og glassgård er det eksponert betong for å dempe temperatursvingninger som følge av varierende varmebelastning fra sol, teknisk utstyr, mm. Tiltaket åpner for økt utnyttelse av passiv solenergi samt redusert behov for kjøling.

Deichmanske bibliotek, Oslo

Bygningen er under oppføring.



Lysgården” på Sluppen, Trondheim.

Uponor har levert TABS, Systemblokk AS har levert de prefabrikerte etasjeskillerne, hvor 8000m² TABS skal sørge for et ekstremt stabilt innemiljø [9].

Forskningsbehov

Det er et stort behov for å få fram mer kunnskap om hvilken effekt man faktisk kan oppnå ved utnyttelse av termisk masse, hvor den termiske massen kan/skal være plassert, og ikke minst hvordan man styrer systemet for å optimalisere utnyttelsen. Dette krever en tverrfaglig tilnærming som blant annet inkluderer design, styring, LCA og energi -kompetanse.

Vi må også vite mer om hvordan systemer basert på aktivering av termisk masse fungerer i norske klimaforhold. Mangel på TABS-konsepser og kontrollstrategier for ulike bygningstyper

og klimasteder i Norge er identifisert som de største implementeringsbarrierene. Koblingen av værprognoser med styringen av slike trege systemer er lite utprøvd. Videre må slike konsepter kombinere bygge-, energi- og materialkostnader for å gi de mest kostnadseffektive kombinasjonene av TABS og kontorplanløsninger.

Nye betongresepter har potensial for å kunne gi forbedrede varmeoverganger og dermed betydelig forbedret effekt. Nye materialkombinasjoner må testes for å kunne avdekke mulige ulemper og svakheter. Dette inkluderer også nye produkter og kombinasjon av løsninger for å tilfredsstille akustiske forhold.

Det må også gjøres mer detaljerte livsløpsbetraktninger av klimagassutslipp (LCA) på termisk aktivert betong i energieffektive bygg.

Kilder

- [1] Høseggen, R.Z. m.fl. (2013) Energieffektive betongelementbygg - Utnyttelse av termisk masse, Betongelementforeningen, Oslo
- [2] Murphy, M., (2010), Thermo-active Ceilings & Free Cooling, Leco report, SINTEF report 52
- [3] Haase, Matthias and Andresen, Inger (2007) Thermal Mass Concepts, SINTEF report SBF BK A07030, ISBN 978-82-536-0995-9
- [4] Hveem (2009). “Design for improvement of acoustic properties”, COIN Project report 19-2009, SINTEF Building and Infrastructure, Oslo.
- [5] Igor Sartori. Night flushing and ceiling acoustic solutions: The effect on summer thermal comfort and energy demand. Coin Project report 10 - 2009.
- [6] Norsk Betongforening. Løsninger som kombinerer lydabsorpsjon og energilagring i bygninger. Rapport fra Multiconsult og Brekke & Strand, AKU02, 28.10.2014.
- [7] Skanska. Naturlig ventilasjon av fremtidens energibygging. Akustiske forhold i kontor. Rapport fra Brekke & Strand, AKU-01, 1.mars 2017.
- [8] Sparebank 1 SMN, prosjektrapport for NAL Ecobox, <http://www.arkitektur.no/sparebank-1-smn?tid=158202>
- [9] Uponor pressemelding, <https://www.uponor.no/vvs/nyheter/deichman.aspx>



Foto: Norcem AS

Nye sementtyper og ny produksjonsteknologi skaper framtidens betong

Norsk Betongforenings Miljøkomité er i ferd med å presentere en artikkelserie i Byggeindustrien for å spre kunnskap rundt temaet betong og miljø. Her kommer forfatterne nærmere inn på nye sementtyper.

Petter Thyholdt, Knut O. Kjellsen og Liv-Margrethe H. Bjerge

Norcem AS (FoU), HeidelbergCement Norge

Dagens betonger lages med langt lavere karbonavtrykk enn tidligere, ikke minst takket være nye sementtyper og ny produksjonsteknologi. I de kommende årene vil nye typer råmaterialer, bruk av klimanøytrale energikilder, nye sementtyper og karbonfangst bidra til en ytterligere fornyelse av materialet betong. Karbonnøytrale betongprodukter er målet for videre utvikling. Vi vil i denne artikkelen gå gjennom hvordan norsk sementindustri arbeider for å redusere CO2 utslipp og miljøbelastningen fra sementproduksjon.

Framstilling av Portland sement

Sement består i enkelhet av malt

Portland klinker og gips. Kalkstein, som er det viktigste råmaterialet ved produksjon av Portland klinker inneholder ca. 40 % CO2 i fast form. Under produksjon av Portland klinker, spaltes CO2 i fra kalksteinen i en prosess der kalkstein kalsineres og slippes ut i atmosfæren. Kalsinering og klinkerdannelse krever mye energi. Denne energien fås fra forbrenning av brennstoffer. Denne forbrenningen er den andre kilden til CO2 utslipp ved klinker produksjon. Sementindustrien har siden 1980 tallet redusert sine spesifikke CO2 utslipp (dvs. kg CO2/tonn sement) vesentlig.

Erstatning av Portland klinker med substitutt materialer

Sementindustrien er blitt flinke til å erstatte deler av Portland klinker med andre materialer som har lignende kjemisk/mineralsk sammensetning. Dette er gjerne restmaterialer fra annen industri.

Siden de er restmaterialer er det ikke knyttet CO2 utslipp til disse materialene. Iht. internasjonale Standarder allokeres CO2 utslipp til hovedproduktet i en produksjonsprosess, og ikke til restmaterialet. At disse restmaterialer nå erstatter en andel sementklinker fører følgelig til at CO2 utslippet pr. tonn sement reduseres. Dette er en svært fornuftig bruk av disse restmaterialene da de ofte gir sementen forbedrede tekniske egenskaper, og alternativet i mange tilfeller ville være å deponere disse restmaterialene.

På verdensbasis er flygeaske (fra forbrenning av kull i varmekraftverk), slagg (fra stålindustri) og kalkstein de vanligste materialene som erstatter Portland klinker. Norcem bruker i dag flygeaske og kalkstein som substitutt materialer i sine sementprodukter. For eksempel, er substituttgraden 22% i vårt hovedprodukt (Norcem Standard FA sement). For

Standard FA innebærer denne bruken av substituttmaterialer en reduksjon i CO2 utslipp på omkring 20% pr. tonn produsert sement, i forhold til om sementen ikke hadde inneholdt substitutt materialer.

Bruk av alternativt brennstoff

Allerede på slutten av 80-tallet startet Norcem med bruk av alternative brenslere som erstatning for kull. Fabrikken i Brevik har nå erstattet 70% av kullet med avfallsbaserte brenslere, og denne andelen vil fortsette å øke i årene fremover. Dette er en vinn-vinn situasjon; avfall som ellers gjerne ville være et problem for samfunnet å bli kvitt, brukes som brennstoff i sementproduksjon og vi reduserer bruken av kull. En del av det alternative brennstoffet er såkalt CO2 nøytralt (biomasse), dvs. at det iht. regelverket ikke er knyttet CO2 utslipp til forbrenning av disse

brennstoffene. Dette er for eksempel trevirke, flis og papir. Bruk av CO2 nøytralt brennstoff har ført til at CO2 utslippet pr. tonn Portland klinker er redusert betydelig. Figur 1 viser hvordan andelen kull av den totale brennstoffmengden er gått ned de siste tiårene. Omkring 30% av det alternative brennstoffet er i dag biomasse ved sementfabrikken i Brevik.

Betydelige kutt i svovel- og nitrogenutslipp

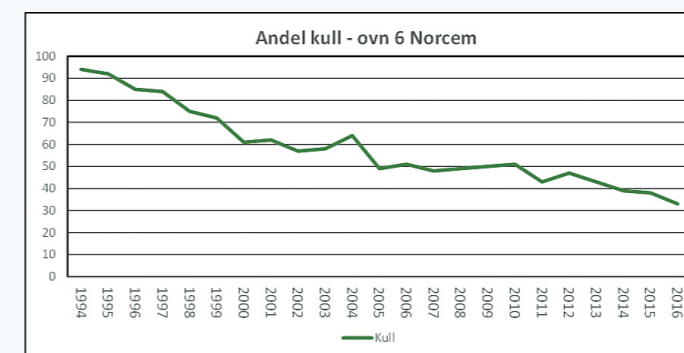
Et hovedfokus for sementindustrien, nå og fremover, er å redusere miljøutslippene. I tillegg til å redusere CO2 er det stort fokus på å redusere NOx og SO2 utslipp. Som tiltak for å redusere disse miljøutslippene har Norcem Brevik installert både NOx- og SO2 renseanlegg de siste årene. Som følge av dette er utslippene av NOx og SO2 redusert med bortimot 70 %.

Nye klinkertyper

Et annet fokusområde for å være

i stand til å redusere CO2 utslippene er utvikling av nye alternative bindemidler og teknologier som fungerer uten konvensjonell Portland klinker. Et alternativ som HeidelbergCement har jobbet med i noen år er BCT klinker (BCT - Belite Calciumsulfoaluminate Ternesite). Denne klinker typen produseres med samme teknologi og produksjonsutstyr som Portland klinker, men med en annen råmaterialtilsetning.

Dersom denne klinkeren kommer i produksjon vil man kunne redusere CO2 utslipp med ca. 30% pr tonn klinker. Dette p.g.a. lavere kalksteinsmengde samt at brennstoff mengden i ovnen kan reduseres med 10% p.g.a. lavere ovnstemperatur. Strømforsøk ved nedmaling av klinker i sementmøllene reduseres med ca. 15% p.g.a. en mer lett malt klinker. Det er kjørt fullskalaforøk i flere fabrikker HeidelbergCement som ser lovende ut, så arbeidet med å utvikle dette videre fortsetter.



Figur 1: Andelen kull brukt i klinkerovnen ved Norcem's fabrikk i Brevik.



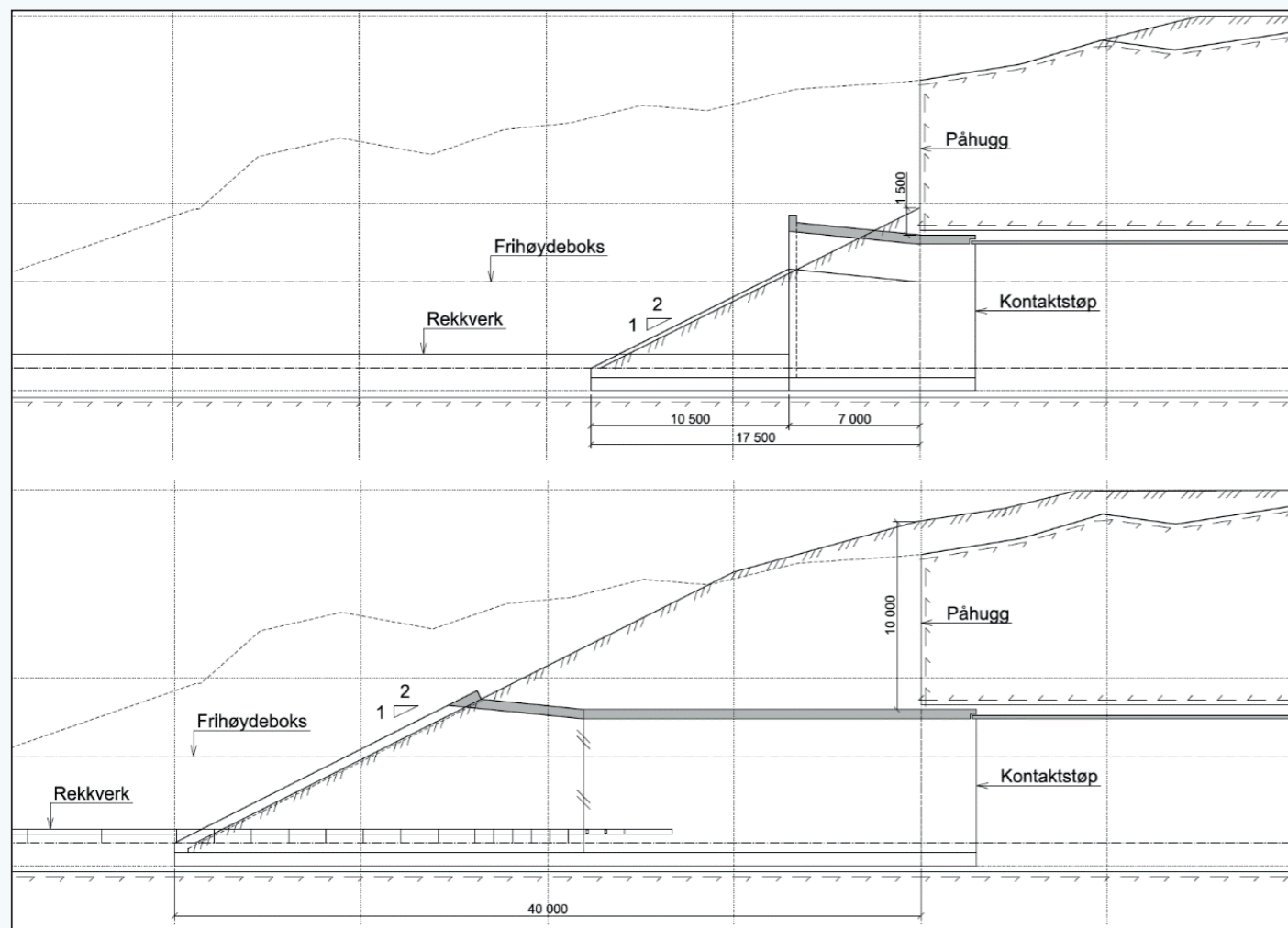
Foto: Norcem AS

CO2-fangst

Norcem og HeidelbergCement Nord Europa har en visjon om at betongprodukter i 2030 skal være CO2 nøytrale over sin levetid. Karbonfangst fra klinkerovnen ved fabrikk i Brevik er avgjørende for å nå denne visjonen. Norcem har tatt ansvar og vist lederskap for å utrede mulighetene for karbonfangst i Norge og i sementindustrien. I 2013 fikk Norcem støtte fra Gassnova til å etablere et testanlegg for CO2 fangst. I årene frem til 2017 er fire ulike teknologier fra flere leverandører testet ut under reelle prosessforhold. Testingen er avsluttet og har gitt oss nyttig kunnskap om mulighetene for å redusere CO2 utslippene fra sementindustrien. Basert på erfaringene fra testperioden er aminteknologien til Aker Solution vurdert som mest moden og klar for fullskala demonstrasjon i Brevik.

Våren 2017 ble Norcem tildelt ytterligere støtte fra Gassnova til

videre konseptstudie av karbonfangstanlegg i Brevik og arbeidet ble avsluttet høsten 2017. P.g.a. nedskjæringer i statsbudsjettet for 2018 til ytterligere studier av fullskala anlegg for CO2 fangst, er videre arbeid med karbonfangstanlegget ved Norcem's sementfabrikk i Brevik lagt på is. Fullskala karbonfangst krever svært omfattende investeringer og er ny og risikofylt teknologi, slik at myndighetene må hjelpe til. Satsing på fullskala karbonfangst og lagring i Norge skal behandles i Stortinget i løpet av våren og det er forventet et vedtak i forbindelse med revidert statsbudsjett i juni. Norcem håper på positivt vedtak og at det bevilges ytterligere offentlige midler til videreføring av arbeidet med fullskala karbonfangstanlegg ved fabrikk i Brevik. En fullskala realisering på Norcem vil være et viktig bidrag for Norge i å oppfylle sine utslippsforpliktelser.



Lengdesnitt kort og lang tunnelportal.

Å bruke materialer smartere gir lavere klimagassutslipp

Om målene i Nasjonal transportplan NTP skal oppfylles, vil de store anleggsprosjektene som f.eks Intercityutbyggingen til BaneNOR og vegprosjekter som Fergefri E39 til Statens vegvesen øke nasjonens totale årlige klimagassutslipp vesentlig.

Ketil Søyland, Daniela Bosnjak, Christer Wolden og Christopher Garman
- alle Norconsult

Disse prosjektene vil påvirke Norges mulighet til å klare en klimagassreduksjon på 40% innen 2030. Statens vegvesen angir utslipp på ca 35 tonn CO₂ pr mill kroner investert. Målene i NTP er minst 1000 mrd kr og disse vil

gi et klimagassutslipp på 35 mill tonn CO₂. Fordeles dette ut over NTP-perioden på 10 år, tilsvarer det en økning av Norges årlige utslipp på 10%.

Norconsult ser at utslipp i byggefase normalt utgjør mer enn 80% av prosjektets samlede utslipp i prosjektets levetid. Det betyr at de valg som gjøres av planleggere i dag har direkte betydning på om nasjonale mål fremover oppnås. I denne artikkelen vil vi diskutere hvordan vi rådgivere kan bidra

til å redusere klimagassutslipp og et mer bærekraftig samfunn.

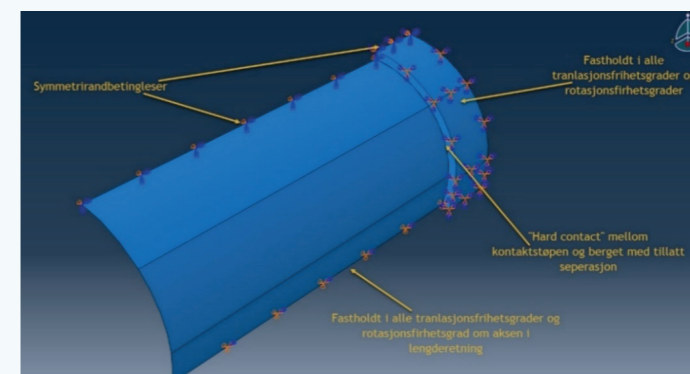
Fokusert innsats i prosjekteringsfasen

Smarte og bærekraftige løsninger kommer ikke av seg selv. Krav i norske standarder, håndbøker og andre byggherrekraav begrenser kreativiteten i å finne nye og mer innovative løsninger.

Mange i privat sektor har vært flinke til å sette seg en målsetting når det gjelder utvikling av mer

bærekraftige bygg. Innenfor anleggssektoren har utviklingen kommet kortere. Prosjektene har høyt fokus på krav til ytre miljø, forurensete masser osv., men lite fokus på reduksjon av klimagassutslipp. Vi erfarer at best effekt i oppnås om man får på plass en god målsetting for prosjektet allerede når konseptvalg foretas.

Fokus på å redusere mengder
For å redusere klimagassutslipp, er det like viktig eller viktigere å re-



3D beregningsmodell

duusere mengder som å fokusere på utslippsfaktoren for materialer. Dette kan eksemplifiseres med en kort tunnelportal som får mye synlig fjellskjæring sammenlignet med en lengre portal med en mer naturlig terrengtilpasning. Det kan være mange meninger om hva som er arkitektonisk riktig, men om målet er å redusere klimagassutslippet, kan en kort portal være fordelaktig. I figurene over vises en tunnelportal der klimagassutslippet, ved å velge den korte portalen, er redusert med over 70%. Kostnadene ble redusert tilsvarende. Om løsningen ikke er så banebrytende i seg selv, illustrerer det godt effekten ved å vurdere og velge løsning også ut fra et klimagassperspektiv.

Vi har også sett at konstruksjoner i anleggssektoren ofte har et stort potensial for optimalisering, da de av forskjellige grunner som tid, prosjekteringskostnad, kunnskap blir overdimensjonert. Selvfølgelig skal det prosjekteres og bygges robuste konstruksjoner, som tåler krav til levetid og sikkerhet gitt i norske standarder. Optimalisering av en konstruksjon kan innebære forenklinger og andre besparelser som man kan identifisere ved bruk av mer avanserte beregningsverktøy og grundig vurderte konstruksjonsløsninger og prinsipper.

I Norconsult har vi gjort en regneøvelse der vi har beregnet den lange portalen i figuren med et 2D-ramme verktøy (G-Prog) og et Finite element program (Abacus). Beregningene viser at ved bruk av en mer nøyaktig beregningsmodell, modellering av geometri og laster osv., kan vi redusere armeringsmengden med 33%. Dette er en vesentlig reduksjon og vil totalt sett spare prosjektet for kroner, tid og ikke minst klimagassutslipp.

Optimalisering av konstruksjonsløsninger, beregningsmodeller og beregningsverktøy

Prosjekteringen skal alltid tilstrebe å optimalisere konstruksjonene for å oppnå lavest mulig pris.

Likevel er det ofte slik at konstruksjonene ikke er så optimalisert som de kunne blitt. Ofte blir det satt av for kort tid til prosjektering fordi det er stort konkurransepress på antall prosjekteringstimer. Andre ganger skal prosjektene gjennomføres med korte frister, f.eks ved totalentrepriser. Det er også veldig vanlig å generalisere for å unngå variasjoner i geometri/armeringsføring eller konstruksjonstype som kan bidra til å forenkle og forkorte byggetid. Noen ganger er det prosjekterende eller byggherres ønske om en robust konstruksjon som er styrende, der robusthet kan forekles med overdimensjonert konstruksjon.

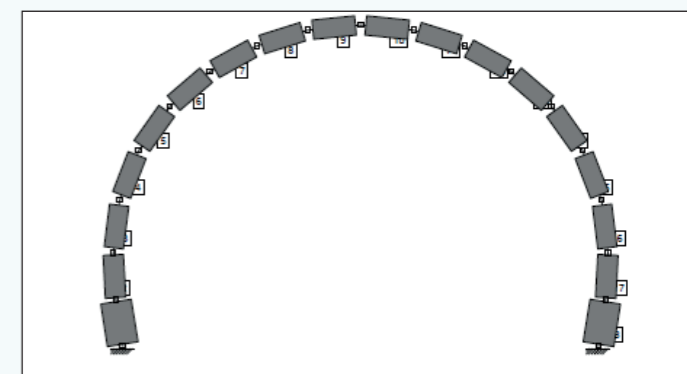
Man skal heller ikke undervurdere effekten av uklart og upresist regelverk som resulterer i mange konservative antagelser i prosjekteringen. Jordtrykk på nedgravde konstruksjoner er et typisk eksempel på dette. Generalisert regelverk kan medføre unødvendige fravikssøknader, som igjen kan medføre at et prosjekt ikke alltid velger optimal løsning, fordi man ikke bruker muligheten til å søke fram.

Det er potensiale for optimalisering av alle typer konstruksjoner. Samtidig er det noen konstruksjonstyper som peker seg ut. Størst potensiale har konstruksjoner som det bygges mest av, som støttemurer, kulverter, portaler og korte bruer i betong. Når det gjelder de større bruene som hengebruer, skråstagsbruer, fritt-frembyggsbruer, osv, vil disse normalt være optimalisert på grunn av utfordringer til spennvidder, kostnad for fundamentering og annet.

Denne optimaliseringen utføres ikke i like stor grad for små og mellomstore betongkonstruksjoner. Der har andre funksjoner og formingsmessige ønsker ofte prioritet.

Hovedandelen av bruer som bygges er små og mellomstore konstruksjoner. Derfor vil optimalisering av disse konstruksjonene totalt sett kunne gi stor gevinst i form av reduserte klimagassutslipp.

Det bør stilles strengere krav til prosjekterende om å optimalisere



2D beregningsmodell

konstruksjoner, samtidig som de selv velger metode og verktøy. Det som kan være aktuelt å bruke er:

- 3D FEM-modellering med nøyaktig modellering av geometri og randbetingelser
- Ikke-lineære analyser eller dimensjonering med ikke-lineær betongmodell
- Samvirkeanalyser av nedgravde konstruksjoner,
- Bruk av lavere sikkerhetsfaktorer kombinert med strengere kontroll ved utførelse

Gode ideer er viktige

Det å være kreativ og gjennomføre kreative prosesser for å finne de gode ideene er viktig for å få til betydelige reduksjoner av et prosjekts klimagassutslipp. Det kan være en utfordring at man lett å foreleske seg i enkelte ideer, uten at de er begrunnet skikkelig i forhold til hvilken klimagassreduksjon ideene kan gi. Det er derfor viktig at mulige løsningsforslag evalueres på en analytisk måte med sammenlignbare kriterier som utslippsfaktorer for de forskjellige materialene som inngår i et produkt. Et godt klimagassbudsjett, der materialer dokumenteres med Miljøvaredeklarasjoner (EDP), er nøkkelen til å kunne ta gode valg som bidrar til å oppfylle prosjektets målsetting. Og vi unngår beslutningsregt tatt basert på magefølelse.

Summen av små og store tiltak utgjør forskjellen

Det har vært mye fokus på lavkarbonbetong og resirkulert armering i anleggsbransjen. De fleste byggherrene er godt gang med å implementere løsninger som sikrer reduserte utslipp ved hjelp av disse to materialtypene. Men, lavkarbonbetong og resirkulert armering vil alene ikke gi tilstrekkelig og nødvendig effekt. Skal samfunnets målsetting om reduserte klimagassutslipp nås, må flere og andre tiltak på plass. Noen eksempler som bidrar og monner er optimaliserte tverrsnitt, spenninndeling, smartere fundamenteringsløsninger, varierende tverrsnitt, sparerør eller andre tiltak som sparer betongmengder, bruk av bedre

beregningsverktøy. Ingen av tiltakene alene vil løse samfunnets mål. Det er summen av bidrag fra både store og små tiltak som vil gi oss de reduksjonene samfunnet trenger.

Sette klimakrav i kontrakt

Hvilken kontraktstype man etablerer, vil være førende for hvordan tiltak kan implementeres i prosjektene. Norconsult erfarer at det er viktig å ikke prøve å være alt for smart i hvordan kontraktene skrives, men heller involvere alle parter i å bli enige om felles mål som gir alle parter god kost-nytte effekt.

Veien videre

Skal vi i Norge klare å nå målene om reduserte klimagassutslipp, må vi tilbake til å spare på materialer. Bransjen må utfordres til å optimalisere konstruksjoner av alle typer. Betongkonstruksjoner er i en særklasse, fordi det er store klimagassutslipp knyttet til disse.

Vi må bruke mer tid og kompetanse i tidlig fase av prosjektene og ta inn klimagassutslipp som et tydelig kriterie i valg av konstruksjonsløsninger. Vi må bruke vår kompetanse og beregningsverktøy til å optimalisere løsningene bedre, da reduserer vi materialbruk, klimagassutslipp og kostnader i byggefase.

Til slutt, byggherrene må sette ambisiøse og tydelige mål for klimagassreduksjoner. Dette motiverer og stimulerer alle parter i prosjektene til nytenking og løsninger som sammen bidrar til at vi når Norges klimamål og et mer bærekraftig samfunn.

- Byggherren må sette målene og stille kravene, og de må bidra til at det blir mulig for de andre aktørene å forbedre bransjen, prosjektene og løsningene i disse.
- Leverandører må optimalisere produksjonen
- Arkitekter, rådgivere og prosjekterende må optimalisere konstruksjonene ytterligere
- Entreprenøren må bygge og drive grønnere

Betong og miljø - lydegenskaper

Krav til lydforhold er i Byggteknisk forskrift gitt under kapittel 13 om inn klima og helse § 13-6. Lyd og vibrasjoner. Støy er et miljøproblem, og tiltak som kan redusere støy kan ha stor effekt på vår livskvalitet. I denne artikkelen peker vi på lydegenskaper som miljøfaktor.

Seniorforsker
Sigurd Hveem
SINTEF Byggforsk

TEK17 og krav til lydforhold

Byggteknisk forskrift (TEK17) gir overordnede funksjonskrav til lydforhold: "Lydforhold skal være tilfredsstillende for personer som oppholder seg i byggverk og på uteoppholdsareal avsatt for rekreasjon og lek". TEK17 viser til NS 8175:2012, klasse C, og standarden gir grenseverdier for lydegenskaper for rom i ulike bygningskategorier og bruksområder. Krav til tilfredsstillende lydforhold omfatter

1. luftlyd
2. trinnlyd og strukturlyd
3. romakustiske forhold, inkludert taleforståelse
4. støy fra bygningstekniske installasjoner
5. støy fra utendørs lyd kilder.

I denne artikkelen ser vi på lydegenskapene for konstruksjoner av betong med utgangspunkt i noen av disse kravområdene.

Søkelys på konstruksjoner med gode lavfrekvens-egenskaper i boliger

Det er nå større oppmerksomhet rundt lavfrekvens egenskapene til skillekonstruksjoner. Bakgrunnen er stadig flere klager på lavfrekvent trinnlyd og lavfrekvent luftlyd fra radio, tv, musikkapp osv. I lydklasse C er det anbefalt å inkludere omgjøringsstall for et spektrum fra 50 Hz, C50-5000, som gir en strengere bedømmelse av lavfrekvens egenskapene. I forslaget til revidert utgave av NS 8175 (2018) er tillegget med lavfrekvensbedømmelsen gjort obligatorisk for boliger. Dette er begrunnet med mange dokumenterte undersøkelser de senere år, blant annet [1] som sammenstiller resultater fra litteraturstudie og spørreundersøkelse om lydforhold i boliger koblet til lyd målinger. Her vises plagegrad

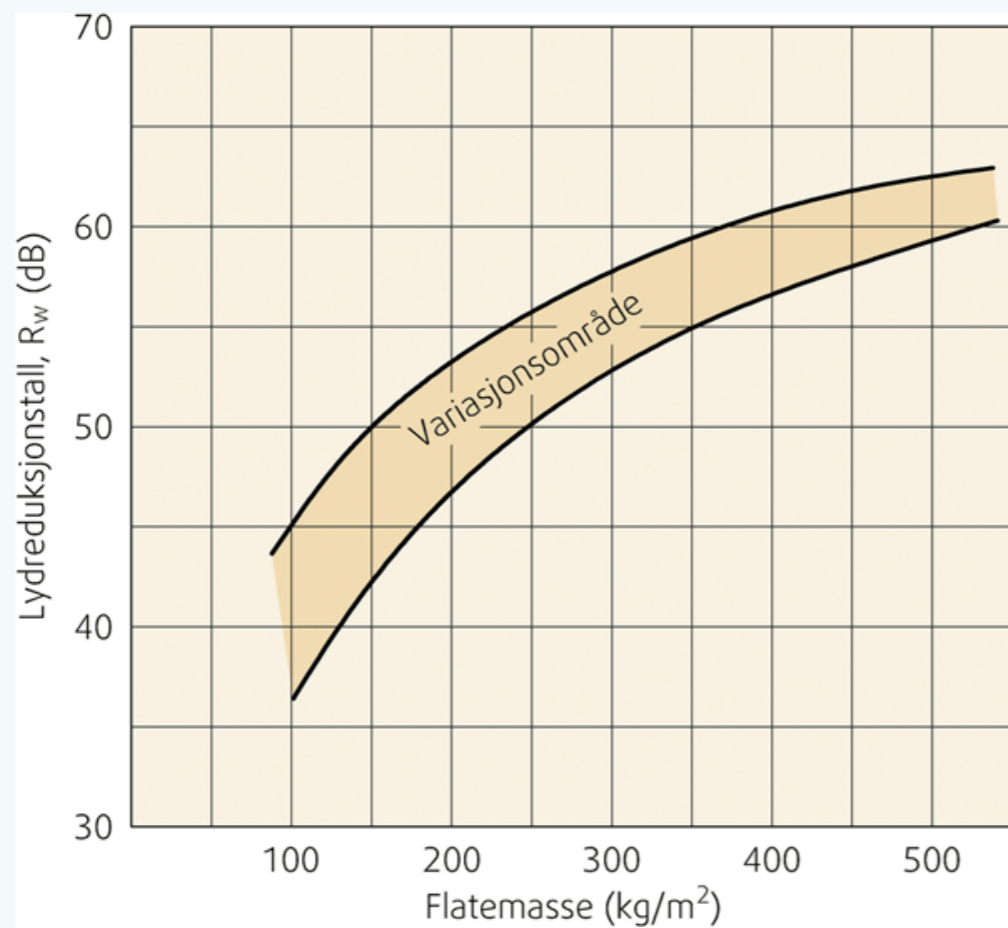


Fig. 1. Sammenheng mellom veid, laboriemålt lydreduksjonstall og flatemasse for massive konstruksjoner. Feltnålte verdier er normalt 3–5 dB dårligere avhengig av flankeoverføringsgrad.

av støy fra nabo (tale, radio, tv, musikkapp og trinnlyd) relatert til om grenseverdi for luftlydisolasjon og trinnlydnivå er tilfredsstillt eller ikke.

Luftlydisolasjon

Skillevegger og etasjeskillere av homogen betong har potensiale for å gi svært god luftlydisolasjon uten tilleggs konstruksjoner, også i lavfrekvensområdet ned til 50 Hz. Mellom boenheter er kravgrensen til feltnålt, veid lydreduksjonstall, $R_w \geq 55$ dB, men anbefalt kravgrense inkludert lav-

frekvenskorreksjon er $R_w + C50-5000 \geq 55$ dB. Fig. 1 viser sammenhengen mellom veid, laboriemålt lydreduksjonstall, R_w og flatemasse for massive konstruksjoner. Med økte krav og anbefalinger er det i dag vanlig å benytte en veggtykkelse på 200–220 mm. Dette gir en rimelig god sikkerhet for å tilfredsstillende anbefalte grenseverdier, som i større grad ivaretar dagens bruk av boliger og forventninger om grad av støybeskyttelse. Løsningen har lav sårbarhet for feil utførelse. Som alltid er det viktig å ha kontroll

på lydoverføring via tilstøtende konstruksjoner som gulv, himling, innvegger og yttervegger (flanketransmisjon).

Trinnlydnivå

Fig. 2 viser typisk etasjeskiller mellom boliger med 265 mm hulldekkelementer i betong med lydisolerende, flytende gulv og nedføret himling. Det flytende gulvet kombineres ofte med vannbåren gulvvarme innstøpt i gulvavrettingsmasse. Det som er en utfordring med disse løsningene er at det

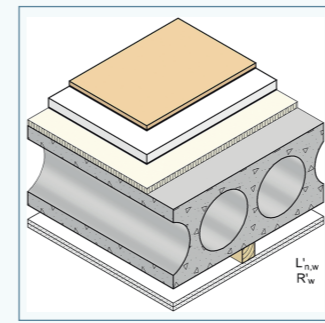


Fig. 2. Etasjeskiller med hulldekkelementer i betong med lydisolerende, flate-elastisk gulv og nedføret himling

flytende gulvet på elastisk dempesjikt ofte har sin resonansfrekvens i frekvensområdet mellom 50 og 100 Hz. Ved resonans er luft- og trinnlydisoleringen dårlig, og dette kan slå relativt kraftig ut på korreksjonsfaktoren C50-5000 (luftlyd) og C1,50-2500 (trinnlyd). Flytende gulv gir også spesielle utfordringer mht. gulvhøyde i forhold til omliggende konstruksjoner.

En måte å unngå lavfrekvensproblemet med flytende gulv på, er å øke dekketykkelsen og samtidig legge et trinnlyddempende belegg eller 14 mm parkett på 2 mm skumplastunderlag direkte på dekket. Erfaringsmessig må da dekketykkelsen for massiv betong økes til 260–270 mm, og det er ikke nødvendig med nedføret himling. Se eksempel i fig. 3. Det er viktig å være klar over at tynne parkettgulv på skumplastunderlag også gir resonanser som reduserer lydisolasjonen noe. Dersom forhold som etterarbeider på himling på grunn av utseende er et problem, er dette et moment som taler for løsning med lyd himling.

Betong i seg selv er relativt billig, og i kombinasjon med utnyttelse av økt spennviddekapasitet begrenses tilleggs kostnadene. Et viktig poeng er her også at økte spennvidder gir mulighet for å begrense flankeoverføringen (dekker spenner over flere rom i boenheter) og bidrar til

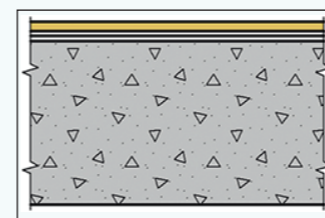


Fig. 3. Etasjeskiller med massiv betong i 260-270 mm tykkelsen med trinnlyddempende belegg eller 14 mm parkett på 2 mm skumplastunderlag

at dekketykkelsen ikke behøver å bli urealistisk stor i forhold til statiske krav.

Lydutfordringer ved bruk av eksponert betong som termisk masse

Betongens evne til å absorbere og magasinere energi (varme) kan utnyttes både i nærings- og boligbygg. En forutsetning er store, fritt eksponerte betongflater i himling og eksponerte dekker på oversiden. Lydabsorberende himlinger og flytende, lydisolerende gulv hindrer i større eller mindre grad en slik utnyttelse. I Norge er kravene i TEK17 til lydabsorpsjon/etterklangstid i kontorlokaler strenge. Det er derfor en stor utfordring å finne praktiske løsninger som kombinerer behovet for eksponert betong med tilstrekkelig lydabsorpsjon i rommet. En mulig løsning er bruk av vertikalt hengende, porøse absorberter (såkalte bafler), eller feltvise himlingsflåter. Redusert himlingsareal kompenseres da med lydabsorbenter på vegg.

Trinnlyd og strukturlyd fra trapper

Det er strenge krav i TEK17 til trinnlyd fra felles trapper. For trapper av betong er det utviklet spesielle løsninger for elastisk opplegg av repos til trappesjakt som reduserer trinnlydoverføring, se fig. 4.

Støy fra bygningstekniske installasjoner

Avløpsrør som er innebygd i vegg, forårsaker store støyplager og har ført til mange klager, spesielt dersom det er kontakt mellom rør og veggkledning/stendere. Med tunge konstruksjoner har man større sikkerhet for at lydoverføringen til tilstøtende rom reduseres. Det er likevel viktig at installasjoner vibrasjonsisolereres fra konstruksjonen, se fig. 5.

Støy fra utendørs lyd kilder

Lydisolasjon mot utendørs lyd kilder er først og fremst begrenset av lydegenskapene til vinduene. Lufting eller luftinntak i yttervegg på støyutsatt side betinger lyd dempende ventiler. Med tunge ytterveggkonstruksjoner vil samlet lydisolasjon for vindu og vegg bli større. Det gir i prinsippet mulighet for å velge et noe enklere vindu enn kombinasjon med lett yttervegg og vindu. Uten-dørs støyskjermer brukes ofte for å redusere støynivået utendørs og innendørs. Med vanlige begrensninger i skjermhøyde er valg av skjermingsmateriale normalt ikke avgjørende for skjermingseffekten.

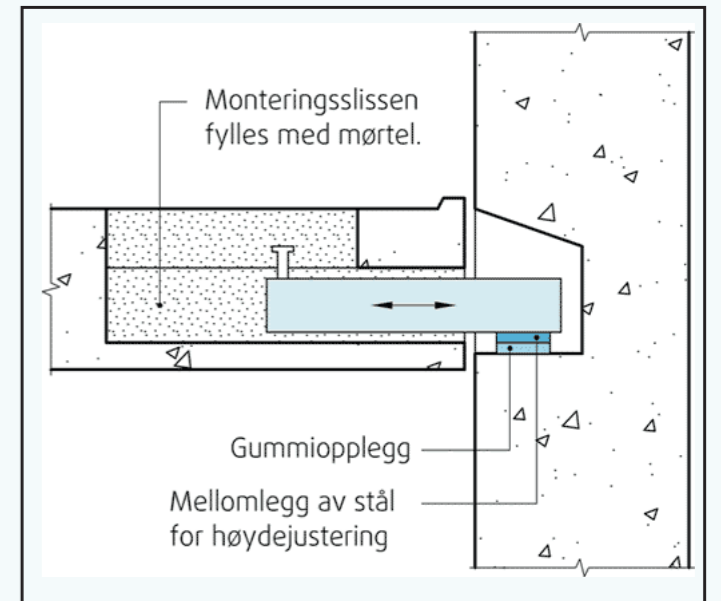


Fig. 4. Eksempel på opplagring av prefabrikkert repos med skinner på gummiopplegg

Referanser

1. Lydforhold i boliger. Evaluering av byggtekniske krav til lydforhold. Samlerapport 127762-RIARAP-001. Samarbeidsprosjekt mellom SINTEF Byggforsk, Transportøkonomisk institutt (TØI) og Multiconsult utført for Direktoratet for byggkvalitet (DIBK). Mars 2016. www.dibk.no
2. Byggforskserien. SINTEF Byggforsk: 517.522 Utendørs skjerm mot støy. Skjermvalg, utforming og stedstilpasning 522.513 Lydisolerende, tunge etasjeskillere

- 522.514 Lydisolerende, tunge etasjeskillere.
- Konstruksjonseksempler 522.515 Lydisolerende golv og golvbelegg
- 524.321 Lydisolasjons-egenskaper til tunge innvegger
- 532.241 Trinnlyd fra innvendige betongtrapper
- 553.182 Støy fra avløpsinstallasjoner
- 722.524 Forbedring av lydisolasjonen i tunge etasjeskillere
- 724.523 Forbedring av lydisolasjonen i innvegger

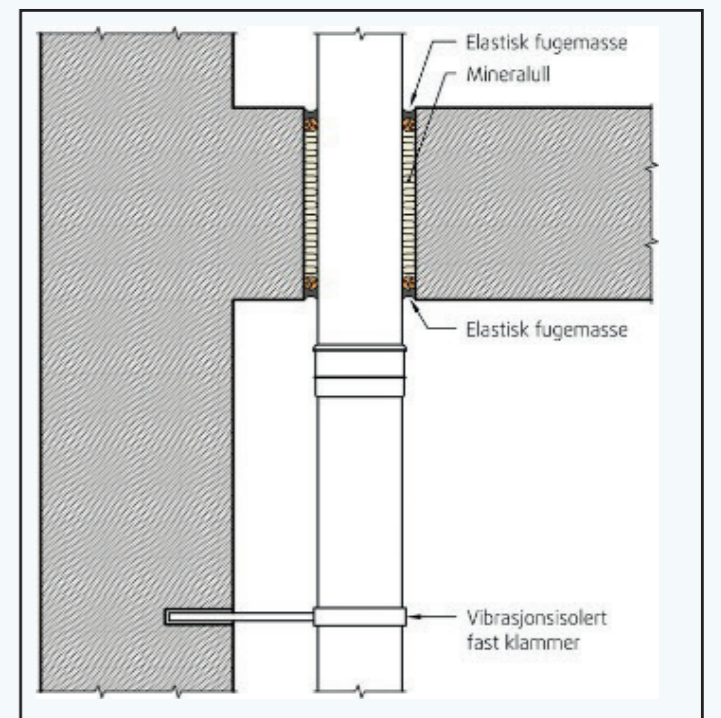


Fig. 5. Elastisk forbindelse mellom avløpsrør og konstruksjon i gjennomføring og ved klamring



Fig. 1. I påkjøringsrampen til E6 fra Taraldrud kontrollstasjon syd for Oslo har Statens vegvesen benyttet bl.a. knust betong i forsterkningslaget. Foto: Christian J. Engelsen, SINTEF Byggforsk

Betong og miljø – karbonatisering

Betong er som kjent det mest benyttede byggematerialet i verden og tilgangen på betong er viktig for utviklingen av infrastrukturen i et hvert samfunn. Klimafotavtrykket til betong er imidlertid høyt på grunn av tilvirkning av råmaterialene. I løpet av primærbruksfasen bindes likevel karbondioksid fra luften tilbake til betongen gjennom aldringsprosessen karbonatisering. Denne artikkelen viser hvorfor dette skjer og hvordan dette kan utnyttes.

Seniorforsker Christian J. Engelsen, Ph.D.
SINTEF Byggforsk

Hvorfor forbindes betong med høyt klimagassutslipp?

Betong består hovedsakelig av sand, stein, vann og sement. En kubikkmeter betong inneholder vanligvis 250-400 kg sement, som binder materialet sammen og gjør at betongen oppnår fasthet. Sementen fremstilles ved å brenne en blanding bestående av hoveds-

kelig kalkstein (vesentlig CaCO₃) sammen med andre råmaterialer som kvarts, leire, skifer, o.l. Blandingen knuses og varmes opp i store, roterende ovner til en materialtemperatur på rundt 1450 °C. Her starter en kjemisk prosess som kalles kalsinering, hvor karbondioksid (CO₂) drives bort fra kalksteinen slik at reaktivt kalsiumoksid (CaO) dannes. Prosessen kan enkelt beskrives slik: CaCO₃ + varme ⇒ CaO + CO₂. Med råmaterialene som benyttes i dagens sementproduk-

sjon, er det derfor nødvendig å drive CO₂ bort fra kalksteinen for at betongen skal stivne og oppnå ønsket fasthet. Kalsineringen bidrar derfor til et vesentlig klimagassutslipp. Totalutslippet fra verdens sementproduksjon utgjør angivelig rundt 4-6 prosent av alle menneskeskapte utslipp av CO₂.

Karbonatisering og opptak av CO₂ fra luften

Når betongen kommer i kontakt med luft starter en aldringspro-

sess som kalles karbonatisering. Under denne prosessen løser CO₂ fra luften seg med porevannet i betongen. Karbonatet som dannes fra karbonsyren (H₂CO₃/HCO₃⁻/CO₃²⁻) reagerer med oppløst kalsium (Ca²⁺), slik at CaCO₃ felles ut i poresystemet. Reaksjonen kan beskrives slik: Ca(OH)₂ + H₂CO₃ ⇒ CaCO₃ + 2 H₂O

Karbonatiseringsprosessen binder derfor CO₂ fra luften kjemisk ved at stabilt CaCO₃ dannes, noe som medfører at pH i porevannet

synker til under 10. Prosessen er den motsatte av kalsinering. For armert betong er det ikke ønskelig at karbonatiseringen skal utvikle seg innover til stålet, fordi den reduserte pH-verdien bryter ned de beskyttende passiveringssjiktene av forskjellige jernoksider. Dette øker risikoen for armeringskorrosjon. For uarmert betong eller knust betong vil naturligvis armeringskorrosjon ikke finne sted.

Karbonatiseringsdybden fastslår man vanligvis ved å dusje en væskeløsning med en pH-indikator på en frisk bruddflate av betongen, for eksempel et meislet eller boret hull. For knust betong kan en metode være å måle pH verdien i vannet som har vært i kontakt med betongen. Dette er påvist i feltforskning ved Taraldrud kontrollstasjon der knust betong ble benyttet i forsterkningslaget, se fig. 1. En synkende pH-verdi ble målt som samsvarte med karbonatisering av den knuste betongen, se fig. 2. Karbonatiserings-hastigheten var også høyere for knust betong som ikke var tildekket med asfalt.

Hvor mye CO₂ kan bindes til betong

Flere forhold innvirker på hvilken mengde CO₂ betongen binder fra luften og hvor raskt dette skjer. De viktigste er betongkvalitet, sementmengde, type bruk og steds spesifikke forhold. Sistnevnte inkluderer hvorvidt betongen er eksponert mot regn, innendørs eller utendørs, neddykket i vann eller tildekket. Type bruk kan grovt inndeles i hel betong (primærbruksfasen) og nedknust betong (gjenbruksfasen). En norsk undersøkelse har vist at 94 kg CO₂ blir gjennomsnittlig bundet per tonn sement benyttet i fabrikkbetong, betongelementer og betongvarer i Norge (Engelsen og Justnes, 2014). Dette tilsvarer mer enn 13% av det totale produksjonsutslippet til sement på omtrent 700 kg CO₂ per tonn sement. For en betong med en sementmengde på 320 kg/m³, tilsvarer karbonatiseringen omtrent 30 kg bundet CO₂ per m³ betong. Undersøkelsen har benyttet en primærbruksfase på 100 år og har tatt hensyn til forholdene som innvirker på karbonatiserings-hastigheten.

Utnyttelse av CO₂-bindingspotensialet

At CaO danner stabilt CaCO₃ i kontakt med luft og vann med svakt basisk pH, er et termodynamisk faktum som bør utnyttes bedre. For armert betong spesifiseres betongen slik at karbonatiseringen tar lang tid og ikke når inn til armeringsstålet i primærbruksfasen. I gjenbruksfasen er økt utnyttelse av CO₂-bindingspotensialet mulig fordi betongens overflate økes ved nedknusing og eventuell armering fjernes (SINTEF Byggforsk, 2015). Flere eksisterende bruksområder i ubunden bruk er gunstige slik som for eksempel forskjellige typer støttemurer, se fig. 3. Fremtidens bruk av knust betong bør utvikles og tilrettelegges slik at hele potensialet utnyttes.

Dette inkluderer også bruk av knust betong i ny betong (bunden bruk) som da øker CO₂-bindingspotensialet for betong i primær-



Fig. 3. Støttemur bygget med knust betong i (Newport, Isle of Wight, England) Foto: Jan Eldegard Hjelle, FABEKO

II/B-S) som tilsvarer 80-100 kg per m³ betong med samme sementmengde som nevnt ovenfor. Det er viktig å understreke at dette ikke er den teoretiske bindingskapasiteten som er høyere. Det er for eksempel antatt at maksimalt 50 % av all CaO i kalsiumsilikathydrat (C-S-H) danner CaCO₃ ved karbonatisering.

bruksfasen ved at tilslaget også kan karbonatisere. Knust betong kan også brukes som råmateriale i sementklinkerproduksjon, hvor kalsiumforbindelsene fra den hydatiserte og delvis karbonatiserte sementpastaen ikke vil bidra til økt netto kalsineringsutslipp av CO₂. I begge tilfeller vil betongen holdes inne i materialkretsløpet og bidra til en sirkulær økonomi.

Referanser

Engelsen, C.J. og Justnes H., CO₂-binding by concrete - Summary of the state of the art and an assessment of the total binding of CO₂ by carbonation in

the Norwegian concrete stock. SINTEF rapport SBF2014A0019 (2014) 61s.

Engelsen, C.J., Wibetoe, G., van der Sloot, H.A., Lund, W., Petkovic, G., Field site leaching from recycled concrete aggregates applied as sub-base material in road construction. Science of The Total Environment 427-428 (2012) 86-97.

SINTEF Byggforsk, Resirkulert tilslag av tegl og betong, Byggforskserien byggedetaljer - mars 2015, anvisning 572.111.

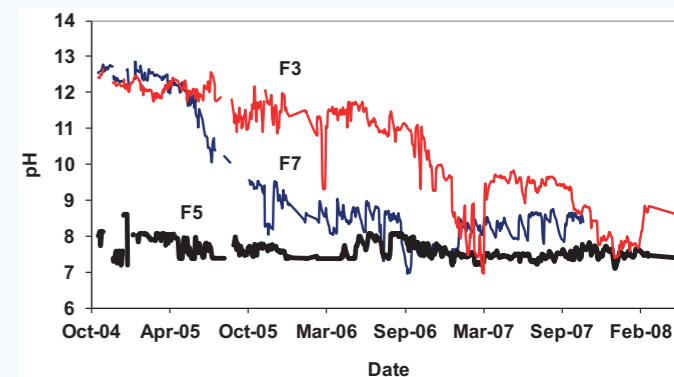


Fig. 2. Karbonatisering av betong. pH målt i avrenning fra resirkulert tilslag fra knust betong (F3) og naturlig tilslag (F5) benyttet i forsterkningslaget på Taraldrud kontrollstasjon. F7 er ikke tildedekket med asfalt og karbonatiserer raskere (Engelsen et al., 2012).

Resirkulering og gjenbruk av betong

Professor Stefan Jacobsen,
Institutt for konstruksjonsteknikk,
NTNU, Trondheim

Innen 2020 skal 70 % av bygge- og anleggsavfall gjenbrukes i henhold til nasjonal plan for bygge- og anleggsavfall (1). Dersom dette skal overføres til betong blir spørsmålet hvordan skal betongbransjen klare dette? Denne artikkelen tar for seg resirkulering av betong og ubundet bruk som tilslag i grøfter, bærelag, forsterkningslag etc (vanligst) eller bundet bruk i produksjon av ny betong. Artikkelen inngår i Norsk Betongforenings serie

1. Mengder og behandling

Årlig genereres ca. 1,5 mill tonn avfall fra BA bransjen i Norge og av dette er mesteparten betong, tegl/mur og asfalt; anslagsvis 0,8 mill tonn er betong. Sammenlignet med årlig forbruk av betongtilslag i Norge på ca. 10 mill tonn utgjør dermed Byggeavfallet en betydelig mengde dersom det kan resirkuleres uten økte kostnader og miljøbelastning og kvaliteten er tilfredsstillende. Markedsmessig er det nok i større prosjekter og i og rundt de større byene (Oslo, Bergen, Trondheim, Stavanger, Drammen etc.) dette er mest aktuelt. Det er krav om utarbeidelse av avfallsplan og kvalitetssikring ved riveprosjekter, det er utarbeidet veiledere som skal sikre både miljømessig og teknisk kvalitet og det finnes et etablert marked for dette i et par-tre av de største byene (1-3). Betong og murverk kan i prinsippet resirkuleres ved å gjenbrukes som løst tilslag (ubundet bruk) eller i nye sementbaserte produkter, f.eks. betong (sementbundet bruk). Før dette kan gjøres mottas og behandles rivningsbetong på sentrale mottak eller på stedet på større bygg og anleggsprosjekter (bygge-, rive- og/eller rehabiliteringsprosjekter). Dette skjer etter at avfallsplan er laget med opplysninger om opprinnelsen til betongen og offentlige krav til kontroll, kartlegging av innhold av miljøgifter og miljøsanering og



Godt armerte betongkonstruksjoner ble på Tjuvholmen i Oslo og ble resirkulert.

Arkivfoto: Anne-Beth Jensen

er oppfylt (1). Deretter fjernes armeringsstål og betongen knuses og fraksjonerer i et pukkerk. Sammensetningen kan måles ved korntelling (betong, tegl, naturlige bergarter/mineraler, mur, puss, annet, gjenværende forurensninger (gips, plast, papir, papp, tre etc)). Sammensetning og egenskaper (kornfordeling, densitet, vannoppsug etc) måles/kvantifiseres og deklarerer (2,3,4).

2. Ubundet bruk - fyllmasser og CO2 opptak

Erfaringen så langt er at drøyt 90 % av resirkulert tilslag fra rivingsbetong gjenbrukes i ulike ubundne anvendelser hvorav ca. halvparten er oppfylling / tilbakefylling

hvor det ikke stilles spesielle krav til den tekniske kvaliteten (1). Gitt at avfallsplan og kvalitetssikring er gjennomført for å unngå spredning av miljøgifter og sammensetning og egenskaper er deklarerert, regnes det som resirkulering når bruken oppfyller en prosjektert del av et byggeprosjekt. Den tekniske beskrivelsen i prosjekteringen kan f.eks. gjelde drenerende evne, støtte rundt rør i grunne ledningsgrøfter, mekaniske egenskaper til bærelag, forsterkningslag etc. i veier. Iflg Statens vegvesen (6) tilfredsstillende resirkulert betong og tegl for eksempel vanligvis krav til mekaniske egenskaper for nedre forsterkningslag (6). Dersom nedknust betong bare tilføres et

prosjekt som for eksempel oppfylling /tilbakefylling uten å være prosjektert snakker vi om deponering. Imidlertid bidrar slik uspesifisert bruk av ubundet resirkulert betong allikevel positivt til miljøet med CO2 opptak hvis den knuste betongen kan karbonatisere fritt (7). Dette CO₂-opptaket blir mere effektivt i betong etter knusing i et pukkerk sammenlignet med i hele konstruksjonsdeler (vegger, dekker etc) (7).

3. Bundet bruk - ferdigbetong med resirkulert tilslag til Pilestredet Park

Erfaringen i Norge så langt er altså at under 10% av resirkulert betong benyttes som betongtil-

slag. Rundt omkring i verden finnes mange hverdagsseksempler på bruk av resirkulert betong i produksjon av ny betong. I Norge finnes flere fullskala eksempler, bl.a. i betongelementer (8) produsert av Spenncon og første gang benyttet av Skanska i Pilestredet Park, samt i ferdigbetong produsert av UNICON (9,10) og benyttet i Pilestredet Park av PEAB. Ved nedlegging/flytting av Rikshospitalet stilte byggherre/tomteeier/tomteselger Statsbygg strenge miljøkrav til nybygg på den gamle tomte. Det var bl.a. krav til 25% vektandel gjenbruksmaterialer (11) av totalvekten av den nye bygningskonstruksjonen. Tabell 1 viser en enkel oversikt over variasjonsområde for praktisk oppnåelig gjenbruksandel i en "byggbetong" produsert og deklarerert (3) med materialer fra Oslo-området (5) i forbindelse med planlegging av Prosjekt utsyn i Pilestredet Park.

Tabell 1 viser hvordan andelen gjenbruksmateriale enkelt kan økes til i størrelsesorden 18-25% av betongen. Med slike moderate mengder er endringer i prosjekteringen av betongkonstruksjonen ikke nødvendig iht. (2). Tabell 1 viser og at tilslaget er den viktigste gjenbrukskomponenten med 270 – 360 kg/m³ betong. Tabell 2 viser 2 ulike resepter som ble utarbeidet i samarbeide mellom NTNU, entreprenør PEAB og ferdigbetongprodusent UNICON med 16,3 – 17,5% gjenbruksmaterialer (9,10).

Tilslaget i tabell 2 var kommersielt tilgjengelig fra et sentralt mottak i Oslo (5) og ble brukt i ordinær produksjon av ferdigbetong. Produksjonen med disse reseptene var ikke helt uten praktiske problemer, bl.a. p.g.a. variasjon både i tilslagets absorpsjon og fuktinnhold. Absorpsjonen varierte mellom 6,5 og 9% med 8% som en praktisk verdi, mens fuktinnholdet varierte fra 13% helt i starten til 6-7% (9,10). I 1 m³ betong var dermed variasjonen i absorpsjon opptil (0,09-0,065)*~300=7,5 kg mens variasjonen i fuktinnhold var opptil (0,13-0,06)*~300=21 kg. Dette kan forårsake variasjon i effektiv v/b på opp mot 0,07. Med slike variasjoner er en forutsigbar og stabil konsistens og fasthet vanskeligere å oppnå sammenlignet med normal betong. På byggeplassen ble det kommentert at det var større konsistenstap enn med ordinær byggbetong og etterdosering av tilsetningsstoff ble brukt en del for å kompensere for variasjoner i bearbeidbarhet. Fasthetskravene og krav for øvrig

Tabell 1 Praktisk oppnåelig andel resirkulerte materialer i "bygg-betong" ved enkleste utnyttelse av tilgjengelige resirkmaterialer og eksisterende regelverk (9,10).

Delmateriale	Typiske mengder (kg/m ³)	Mengde resirk (kg/m ³)	Vekt-% resirk
Flyveaskeement	300 - 400	60 - 80	20
Silikastøv	0 - 20	0 - 20	100
Resirkulert vann	180 - 240*	90 - 128**	100
Lignosulfonat (tørstoff)	1	1	100
Tilslag	1800	270 - 360***	15 - 20
Betong	Ca 2400	421 - 588	18 - 25

*: v/b = 0,60, **: kjemisk og fysisk bundet vann tilsvarende v/b = 0,30
***: ikke begrensning, men krever ingen ekstra prosjektering iht (2)

Tabell 2 Betong sammensetning fra UNICON (kg/m³ hvis ikke annet angitt)

Delmateriale	B30M60 (vegg)	B35M40 (dekke)
Norcem std FA	239	402
Norcem Anlegg	97	-
Silika støv	10	17
Sand 0-8	977	901
Pukk 8-16	473	515
Resirk tilslag 8-22	316	308
Tilsetningsstoff	1,68P ¹ +2,2SP ²	3,2P ¹ +4,8SP ² +1,6L ³
Tilsett vann	182	166
Densitet	2299	2318
Vekt % resirk tilslag (% tot /% > 4 mm)	33 / 55	35 / 51
Silikastøv % betongvekt	0,4	0,7
Flyveaske % betongvekt	2,1	3,5
Resirkulert betongtilslag % ny betong (Resirkulert vann % betong ⁴)	13,7 (4,4)	13,3 (5,3)
Sum Resirkulerte materialer % betong ⁵	16,3	17,5
Levert fra Unicon okt-04-1.okt 05	2744 m ³	987 m ³

P¹:MBT P Deg, SP²: Glenium 151, L³:Micro air 100 Deg ⁴: kun forsøk med resirk. vann, ⁵: vann ikke inkl.

i (2) ble overholdt i produksjon av de to betongkvalitetene i tabell 2 som i all hovedsak ble brukt i plasstøpte vegger og plattendecker i Utsyn (9,10). Med unntak av de nevnte ulempene i fersk betong og gitt at egenskaper for herdet betong ikke reduseres er det altså fullt mulig å gjenbruke betong i betong. Egenskaper for herdet betong inkluderer konstruktive egenskaper (fasthet, E-modul, kryp, svinn etc) og bestandighet (alkalireaksjoner, kjemisk nedbrytning, frostbestandighet etc). Disse må ikke påvirkes negativt slik at det går ut over funksjonsdyktigheten og langtidbestandigheten til betongkonstruksjonen. Mye kunnskap og informasjon om støpelighets-, fasthets-, langtidsegenskaper og miljøeffekter er utviklet og publisert både nasjonalt og internasjonalt, se (1-13) og bør studeres før produksjon av ny betong med resirkulert tilslag.

Referanser

1. Handlingsplan 2017-2020, Nasjonal handlingsplan for bygg og anleggsavfall NHP4, ISBN 978-82-998086-7-5, www.byggemiljo.no 28 s. 2017
2. Norsk Betongforenings publikasjon nr 26 Materialgjenvinning av betong og murverk for betongproduksjon (2003), www.betong.net
3. Veileder for bruk av resirkulert tilslag, RESIBA (2000), http://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2014/10/04_2002_Veileder_resirkulert_tilslag.pdf
4. Jacobsen S. Deklarasjon av egenskaper for resirkulert tilslag, rapport Norges Byggeforskningsinstitutt (NBI) E 7753, 6 s., 6 appendix, 1998
5. Petkovic G.(2007) Materialdeklarasjon av resirkulert tilslag – uttesting av deklarasjonsordning www.vegvesen.no Tekn.rapp 2431 (2007) 112 s.
6. Jacobsen S. Bruk av resirkulert betong i bygg og anlegg – Statens Vegvesen konferanse 19. oktober 1999 Clarion hotel Gardermoen, 10 s. (1999)
7. Johansen K, Dahl P.A., Injar J. Hulldekker med resirkulert pukkerk – unngå spor av tegl, Betongindustrien 4/2000 s.14-15
8. Jacobsen S., Harrysson T. Pilestredet Park – strenge krav til gjenbruk. Hva betyr det for betongen? SINTEF/NTNU Betonginformasjonsdag 2005, Rapport STF22 A05150, ISBN 82-14-03568-6, s.28-35 (2005)
9. Jacobsen S., Harrysson T., Skaattun F., Seim H.: Production of concrete structure with recycled materials, Proc Nordic Concrete Research Meeting Sandefjord, Norsk Betongforening Publ.33 ISBN82-91341-91-5 (2005) 197-199
10. Miljøoppfølgingsprogram for Pilestredet Park (MOP),Statsbygg (1999) 39 s.
11. Dhir et al (Ed.) Sustainable construction; Use of Recycled Concrete Aggregate (RCA), Thomas Telford, London ISBN 0 7277 2726 5 (1998) 525 s.
12. Jahren P., Tongbo S: Concrete and Sustainability, CRC Press (2013) Ch.4.1 pp.181-194

Kalkholdige restprodukter fra betongproduksjon - et nytteprodukt i landbruket

Hvert år produseres det nær 17 millioner tonn betong i Norge. Alle blandere på betongfabrikkene og auto-mikserne som transporterer fabrikkbetong til byggeplass må vaskes og holdes rene for å holde utstyret klart for de neste leveransene.

Jan Eldegard Hjelle
FABEKO

Moderne betongfabrikker har avanserte vaskeanlegg med flere sedimentasjonsbassenger for å ta vare på råstoffer for gjenbruk. Det grove tilslaget kan gjenbrukes i nye anvendelsesområder og vaskevannet kan gjenbrukes og benyttes inn igjen i betongproduksjonen. En av materialstrømmene som kommer fra slike vaskeanlegg er i form av avvannet og kalkholdige finstoff. Dette er kalt betongslam og det arbeides med nye anvendelsesområder for dette produktet.

Inn i sirkulærøkonomien

Betongslam har lenge vært en utfordring å gjenbruke i betongfabrikkene. For å støtte utviklingen i sirkulærøkonomien har betongbransjen sett på andre anvendelsesområder for å kunne utnytte de kalkholdige finstoffene. Dette restproduktet kan blant annet brukes som jordforbedringsmiddel for å øke pH i jorden.

Betongslam består av de faste partiklene som legger seg på bunnen i sedimenteringsanlegget, primært sementpartikler og finpartikler fra sand og stein. Karakteristisk for betongslammet er at det har en høy pH-verdi og inneholder mye kalk fra sementen. Forskningsresultater gjennomført av Norsk Institutt for Bioøkonomi, NIBIO (tidligere Bioforsk), viser at betongslam med enkle grep kan gjøres om fra et unyttig restprodukt til et verdifullt og effektivt jordforbedringsmiddel – til glede for både betongprodusenter og jordbrukere som trenger kalk til å forbedre jorda. Betongslam kan ifølge konklusjonene i prosjektet, gi den samme eller bedre kalkvirkning enn kalk man får kjøpt i butikken. Analyser av kalkvirkning av betongslam har vist at en kan regne med økning av pH fra 1,0 til 1,5 pH-enheter beregnet per tonn betongslam (tørstoff) per dekar.

Dokumentasjon av jordforbedringsmiddel

Gjødsel og jordforbedringsmidler bør doseres slik at de er tilpasset



SLAM. Test av betongslam som jordforbedringsmiddel for Raigras og Rødsvingel hos Bioforsk. Foto: Bioforsk

plantenes behov for næringsstoffer. For slam, kompost og andre avfallsbaserte gjødselvarer er det i tillegg begrensninger på bruk. Disse begrensningene er satt for å begrense tungmetallbelastning på jorda. Regelverket setter strengere bruksbegrensninger på arealer hvor man dyrker mat og hvor mennesker oppholder seg (for eksempel private hager og parker) enn på andre arealtypene (for eksempel veiskråninger). Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav har i § 10 angitt maksimalt innhold av syv ulike tungmetaller i produktene som blir kategorisert i en kvalitetsklasse (klasse 0, I, II og III). Klasse 0 har de strengeste kravene til tungmetallinnhold og gjelder oftest for arealer beregnet for matproduksjon. Betongslam er best egnet for bruk på arealer for grasproduksjon i klasse I og II. Forskriften har angitt mengdebegrensninger på jordbruksarealer, private hager og parker:

Resultatene fra måling av tungmetaller i betongslammet viser at innholdet generelt er lavt. Av tre utvalgte betongfabrikker det er tatt

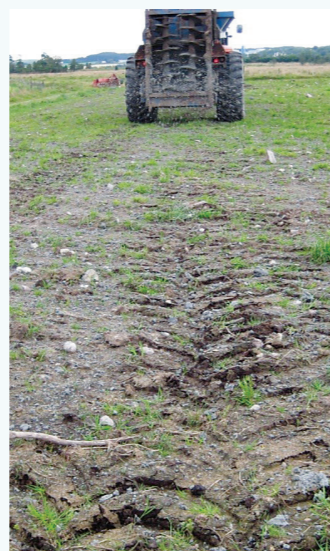
slamprøver fra, faller to i Klasse 0. Det betyr at det kan brukes til jordbruk uten restriksjoner. En fabrikk falt inn under klasse 1 på grunn av innholdet av kobber og dette setter en maksimumsgrense på 4 tonn tørstoff pr. dekar over 10 år.

Videre utvikling

For å kunne utnytte kalkholdig betongslam som et effektivt jordforbedringsmiddel trengs en utvikling i håndteringsløsninger for materialet. De fine partiklene har lett for å klumpe seg og skape utfordringer ved spredningen på jorden. Nedknusing av klumper samt utvikling av effektive spredemetoder for jordbrukerne er viktige utviklingsoppgaver.

Mattilsynet arbeider med et nytt regelverk for gjødselprodukter som har som mål å regulere hvordan nye produkter skal kunne utnyttes. Dette inkluderer både organiske og uorganiske produkter. Eksempel på et nytt organisk gjødselprodukt er slam fra rensing i kommunale avløpsanlegg og betongslam et eksempel på et uorganisk produkt med nytteverdi i jordbruket.

Disse forskriftene vil være basert på tilsvarende europeiske regler og FABEKO har dialog med Mattilsynet for å avklare hvordan betongslam kan benyttes i landbruket.



JÆREN. Spredning av avvannet betongslam på Jæren. Foto: Jærbetong

Betong og miljø

Permeable dekker med belegningsstein i betong håndterer overvann. Permeable dekker med belegningsstein består av tette betongenheter som er konstruert slik at det lages definerte fuger mellom enhetene slik at overvann kan dreneres gjennom fugene og ned i grunnen under dekket.

Edvard Sivertsen
(SINTEF)
Tone M. Muthanna
(NTNU)
Berit Time
(SINTEF)

Permeable dekker med belegningsstein har for øvrig de samme tekniske egenskapene som tradisjonelle dekker og konstrueres på samme måte med et forsterkningslag, bærelag, settelag og belegningsstein. Det er imidlertid viktig at fugematerialet mellom betongenheterne og settelaget er uten finstoff (det vil si uten fraksjonen 0-2 mm). Typisk anbefales knuste steinmasser med størrelsesfordeling 2-5 mm som fugemateriale.

Oppbygningen av permeable dekker er tilpasset bruksområdet for dekket. Bruksområdet varierer vidt fra industrielle applikasjoner med tung nyttelast til fortau, torg og private oppkjørsler med mindre belastning. Det er utarbeidet flere veiledere som kan lastes ned fra Norsk Belegningsstein (www.belegningsstein.no) og som gir detaljerte beskrivelser av dimensjonering og oppbygging [1, 2].

Alle de store norske produsentene av belegningsstein har permeable alternativer i sitt sortiment og det er anlagt en rekke anlegg i Norge de senere årene som benytter permeable dekker. Noen eksempler er Dansrudveien (Drammen, 30 000 m²), Aker Solution (Egersund, 12 000 m²), Tine Meierier (Sola, 4200 m²), Røykenbadet (Røyken, 5500 m²) og Svinesund Transportsenter (Svinesund, 23 000 m²).

Overvann

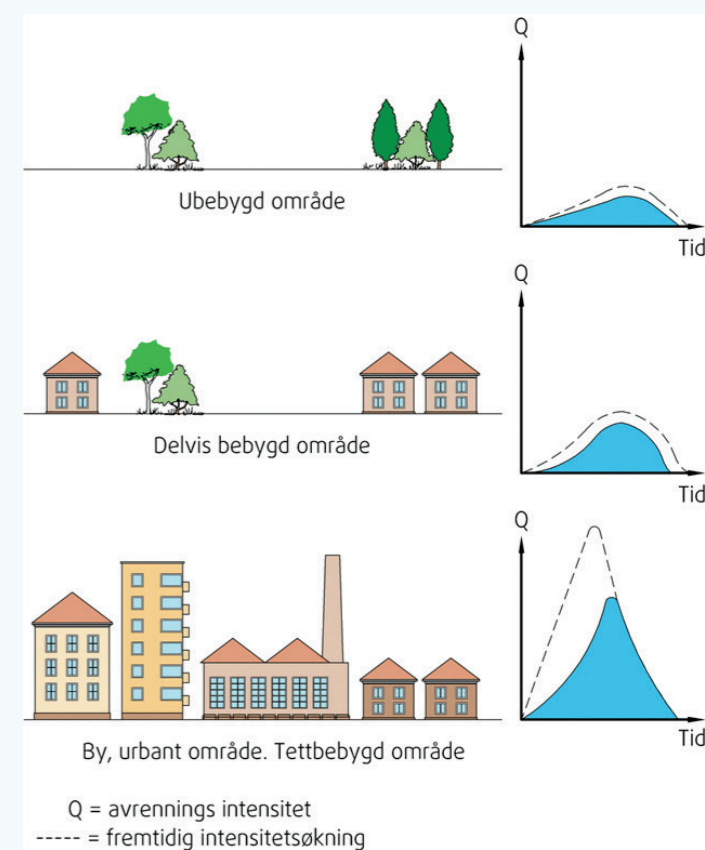
Overvann er vann som renner på overflaten som følge av nedbør eller smeltevann [3]. Overvann er en økende utfordring i byer og tettsteder som i stor grad skyldes urbanisering med utbygging og tetting av naturlige avrennings- og infiltrasjonsflater. Klimaendring med hyppigere og kraftigere regnskyll vil forsterke utfordringene med overvann ytterligere. Figur 1 viser hvordan økt urbanisering og klimaendringer gir økende mengder overvann. Denne økende mengden overvann

må håndteres på en forsvarlig måte slik at vi unngår oversvømmelse og skader på bygninger og infrastruktur. Hensikten med ulike overvannstiltak er derfor å redusere og forsinke avrenningstoppen fra et gitt område mest mulig, slik at ikke alt overvannet «treffer» ledningsnett eller bekkeløp nedstrøms samtidig.

Tradisjonelt har overvann vært håndtert ved å lede vannet til nærmeste sluk for deretter å bli transportert i rør enten sammen med sanitært avløpsvann (felles system) eller i egne rørledninger (separat system). Ulempen for begge løsningene er at rørene har en begrenset kapasitet som ofte ikke tar høyde for økende overvannsmengder. Overvannshåndteringen har derfor i den senere tid fokusert på løsninger som kan begrense mengden overvann ved at alt eller noe av overvannet håndteres lokalt [4]. I Norge er dette arbeidet forankret i treleddsstrategien. Treleddsstrategien kategoriserer tiltak for å håndtere overvann inn i tiltak som (1) reduserer og forsinke avrenning gjennom infiltrasjon til grunnen, (2) forsinke avrenning gjennom fordrøyning og (3) sikrer trygg avledning til nærmeste resipient.

Avhengig av utforming kan permeable dekker med belegningsstein kategoriseres enten som et infiltrasjonstiltak, som et fordrøyningstiltak eller som begge deler. Effektiviteten til permeable dekker vil være avhengig av utforming og stedlige betingelser og kan variere fra fullstendig infiltrasjon der alt vannet infiltreres i grunnen til at alt vannet samles opp under det permeable dekket og slippes på det øvrige overvannssystemet med en betydelig forsinkelse. Videre vil permeable dekker typisk ha en avrenningskoeffisient på nivå som vanlig grass.

En framtidrettet håndtering av overvannet krever en god plan som ofte kombinerer en rekke ulike tiltak som i sum gir tilstrekkelig kapasitet [5, 6]. Permeable dekker med belegningsstein vil være ett av mange overvannstiltak som kan benyttes på bygninger (tak), i byer og tettsteder, og er spesielt interessant da det også har andre ønskelige egenskaper som vil gi merverdi. (Så langt er det oftest slik at det er over-



Figur 1. Økende overvannsmengder som følge av urbanisering og klimaendring (SINTEF Byggforsk, Byggforskserien 311.015).

vannshåndteringen som er merverdien, mens det er parkeringsplassen, fortauet eller gårdsplassen som er primærfunksjonen.)

Tre ulike prinsipper for oppbygning

Avhengig av hvordan overvannet håndteres skiller vi mellom tre ulike prinsipper for oppbygning av permeable dekker.

- System A – full infiltrasjon brukes når grunnen under dekket har så god infiltrasjonskapasitet at grunnen vil kunne ta unna vannet som skal håndteres og som går gjennom det permeable dekket. Denne løsningen faller derfor inn under det første trinnet i treleddsstrategien.
- System B – delvis infiltrasjon benyttes når grunnen under dekket ikke har kapasitet til å infiltrere alt vannet som går gjennom det permeable dekket eller hvis grunnvannet i perioder blir stående i forsterkningslaget til dekket. I tillegg til naturlig infiltrasjon lages det derfor en dreneringsløsning som drenerer vannet som ikke infiltreres til nærmeste ledningsnett, grøft eller annen resipient. Denne løsningen faller derfor inn under både det første og andre trinnet i treleddsstrategien.
- System C – ingen infiltrasjon benyttes når grunnforholdene ikke tillater infiltrasjon eller når overvannet er så forurenset at man ikke ønsker å infiltrere vannet til grunnen. For denne løsningen legges det en tett membran mellom grunnen og forsterkningslaget for å skille overvannet fra grunnvannet. I tillegg må det lages en dreneringsløsning som drenerer overvannet til nærmeste ledningsnett. Denne løsningen faller derfor inn under det andre trinnet i treleddsstrategien.

Kapasiteten til permeable dekker vil således avhenge av lagingskapasiteten i de underliggende lagene

og infiltrasjonskapasiteten i grunnen. Det er tykkelsen på forsterkningslag og bærelag som utgjør vannlagingskapasiteten i systemet, mens den totale infiltrasjonskapasiteten til grunnen bestemmes i stor grad av de stedegne masser [7].

Vedlikehold

Permeable dekker med belegningsstein krever lite vedlikehold. Støv og annet finpartikulært materiale som ledes til fugene vil redusere den drenerende kapasiteten til dekket over tid. Det er imidlertid vist at den drenerende kapasiteten stabiliserer seg etter noen år og når man planlegger og dimensjonerer tar man høyde for denne reduksjonen. For å sikre lang levetid bør allikevel tilførsel av ekstra partikulært materiale fra omgivelsene minimeres og det bør utføres regelmessig feiing. Hvis fugematerialet går helt tett må dette rengjøres eller erstattes ved hjelp av spyle/feie-bil. Hvis det blir behov for strøing om vinteren, er det hensiktsmessig å strø med den samme massen som brukes som fugemateriale, slik at man får en naturlig etterfylling av fugene om våren og man unngår ekstra tilførsel av finstoff.

Kan hindre forurensing

I og med at partikulært finstoff i stor grad holdes tilbake av fugene og settelaget, kan permeable dekker med belegningsstein til en viss grad ha en rensende effekt på forurenset overvann. Partikkelbundne forurensering som tungmetaller vil kunne holdes tilbake og akkumuleres i de tettere lagene av dekket, som i så fall må behandles når det permeable dekket skiftes ut. I tillegg kan mindre mengder hydrokarboner som lekker fra biler og lastebiler bionedbrytes i de tettere lagene av dekket dersom betingelse for biologisk aktivitet for øvrig er tilfredsstillt [1].

Vinterforhold

Riktig utførte permeable dekker fungerer godt under vinterforhold og internasjonale erfaringer har vist at telehiv ikke forekommer siden massene er drenerende og man unngår stående vann som kan fryse. Lagene med pukk har også en isolerende effekt og det er vist at infiltrasjonsevnen opprettholdes etter kuldeperioder [1]. Videre har man erfaringer som viser at permeable dekker med belegningsstein fungerer bra i perioder med snøsmelting på dagen og frost om natten, der smeltevannet drenerer i fugene og dekket fremstår som tørt i motsetning til tette dekker der smeltevannet fryser til is. Dette vil redusere behovet for strøing og således redusere kostnader til vinterdrift [2].

Dersom det blir behov for strøing av dekkene vinterstid, kan finstoffene i strøsandene over tid tette fugene [1]. Dette kan man til dels unngå ved å bruke fugemateriale som strøsand.

Pågående forskningsaktiviteter

Mye av kunnskapen om permeable dekker med belegningsstein er hentet fra utlandet, bl.a. England, USA og Canada. I nordisk klima er det gjort noe forskning i Sverige som er meget relevant for Norge. Det er nå bygget flere anlegg i Norge som benytter belegningsstein i permeable dekker og det opparbeides verdifull erfaring fra disse med drift og vedlikehold under norske forhold. I tillegg er det fortsatt behov for forskning, utvikling og dokumentasjon, bl.a. for å utfordre dimensjoneringsveilederen og dokumentere kapasiteten, spesielt under vinterdrift. Det pågår for tiden spennende aktiviteter ved flere testanlegg i Norge.

Pilotanlegget på Ås

I 2012 ble det bygget en 200 m² stor parkeringsplass med permeabelt dekke på campus Ås. Anlegget følges opp av studenter i ulike studentoppgaver ved NMBU.

Testanlegget på Sandnes

I 2015 ble testanlegget på tomta til Multiblokk på Sandes ferdigstilt. Anlegget følges opp av Storm Aqua, i tillegg er flere studentoppgaver utført i tilknytning til testanlegget, bl.a. [8]. Anlegget består av fire ulike forsøksfelt med ulike oppbygning og belastning. To av forsøksfeltene ligger i innkjøringsveien til fabrikkområdet og utsettes for meget tung belastning. Begge disse feltene er ca. 120 m² store og infiltrerer kun vann fra området de dekker. Et tredje felt på ca. 104 m² infiltrerer vann fra en større parkeringsplass med tett dekke. Anlegget har egen værstasjon og måleutstyr for å måle vannmengdene gjennom feltene.

Testanlegget i Trondheim

På taket til Trondheim kommunes



Permeabelt versus tett dekke. Foto: ASAK Miljøstein.



Eksempel på permeabelt dekke med definerte fuger med fugemateriale. Foto: ASAK Miljøstein.

avløpsrensaneanlegg på Høvringen har SFI Klima 2050 etablert tre forsøksfelt for utvikling og uttesting av blågrønne og blågrå tak som fordøyer avrenningen av overvann [9]. Testanlegget stod ferdig i 2016 og har egen værstasjon og avansert måleutstyr for å måle vannmengdene gjennom feltene. Det blågrå taket består av permeabel belegningsstein i betong som legges opp et filtermateriale med egenskaper som forsinker avrenningen av vannet. På denne måten får man et uterom på taket som også bidrar til overvannshåndtering. Det er mulig å se resultater, laste ned publikasjoner og følge med på uttestingen av takene på www.klima2050.no.

Testanlegget på Malvik

DRENSSTEIN er et treårig forskningsprosjekt som startet opp i 2017 med støtte fra Norges Forskningsråd. Prosjektet eies og ledes av Vikaune Fabrikker, med Nordland Betong, ASAK, ASAK Miljøstein, Lintho Steinmiljø, og Storm Aqua som prosjektdeltagere. Prosjektet skal etablere seks forsøksfelt, der hvert felt vil være ca. 100



Testanlegget på Høvringen rensaneanlegg i Trondheim. Foto: Tore Kvande, NTNU.

kvadratmeter. Hvert felt vil ha forskjellig oppbygning og teste ut ulike kombinasjoner av de ulike lagene, både med og uten infiltrasjon. Forsøksfeltene vil være en integrert del av området forøvrig og vil således få en naturlig og reell belastning. Anlegget vil få egen værstasjon og måleutstyr for å måle vannmengdene gjennom feltene. Testanlegget er plassert på Malvik utenfor Trondheim og vil stå ferdig høsten 2018.

Referanser

- [1] Permeable dekker – Veiledning for utforming, bygging og vedlikehold av permeable dekker av betongstein, Veileder Interpave, 2012
- [2] Myhr, K. Dimensjonering og bruk av permeable dekker med belegningsstein – En kort veiledning i bruk av permeable dekker, Byggetengrensers Norsk Belegningsstein, 2013
- [3] Overvann i byer og tettsteder - som problem og ressurs. NOU2015:16, Klima- og miljødepartementet, 2015
- [4] Lindholm, O., S. Endresen, S. Thorolfson, S. Sægrov, G. Jakobsen og L. Aaby. Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering, Norsk Vann rapport 162, 2008
- [5] Byggeforskeren 311.015 Vann i by – håndtering av overvann i bebygde områder
- [6] Byggeforskeren 514.114 Løsninger for lokal håndtering av overvann i bebygde områder
- [7] Myhr, K. og Lippstad, S.L. Belegningsstein som håndterer overvann, Oslo kommune faktaark, 2016
- [8] Trandum, J.H. Testing of Infiltration System for Stormwater - Permeable Pavement. Master Thesis. NTNU, Trondheim 2016
- [9] Muthanna, T. og Time, B. Fordrøyende tak. Byggeindustrien 11/2018 s 37

Betong og stråling

Det finnes mange typer stråling, og noe stråling er skadelig og direkte farlig for oss. I moderne bygg er vi opptatt av å beskytte oss mot farlig stråling og strålingskilder. Til dette kan betong være et velegnet bygningsmateriale.

Teknisk sjef Thomas Beck

Construction Chemicals - Normet Norway AS
Stråling er i all hovedsak elektromagnetisk stråling. Det meste av strålingen har lav energi og er derfor ufarlig. Eksempler på ufarlig stråling er synlig lys og varmestråling (IR). I det energien til strålingen kommer opp til et visst nivå, kan stråling utgjøre en fare for oss. Eksempler er ultraviolet stråling (UV), Røntgenstråling og radioaktiv Gammastråling. Slik stråling kalles gjerne ioniserende stråling, og denne er skadelig for celler og DNA i kroppen [1] og øker også faren for å utvikle kreft.

Kilder til ioniserende stråling kan deles inn i tre grupper:

1. Gjennom inntak av mat og drikke.
2. Inhalering av luft.
3. Ekstern bestråling av kroppen.

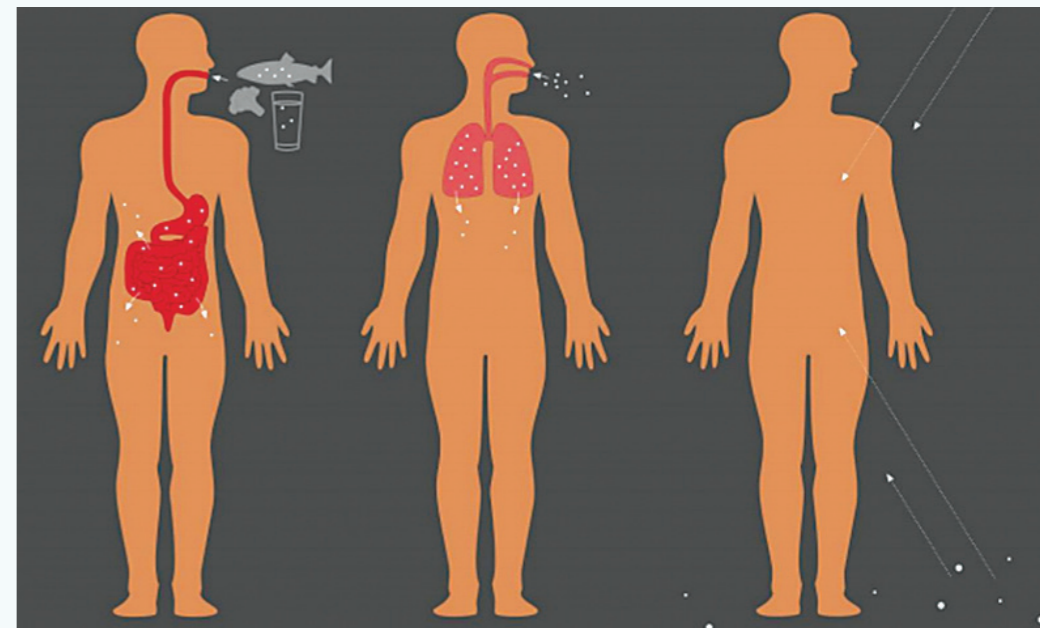
Mesteparten av strålingen vi blir eksponert for, stammer fra radioaktive stoffer som finnes helt naturlig i miljøet rundt oss: maten vi spiser, luften vi puster i og bakken vi står på [1]. Radioaktiv stråling deles også inn i to hovedtyper: Gammastråling og Partikkelstråling (Alfa- og Beta-stråling). De sistnevnte består av partikler og disse stopper lett i huden og i klær. Disse er derfor farlige først når de kommer inn i kroppen vår, enten gjennom mat og drikke eller gjennom luft.

Betong og bygningsmaterialer som strålingskilder

Som nevnt finnes det naturlig stråling i naturen. Og alle bygningsmaterialer som inneholder mineraler og andre naturlige komponenter vil derfor som regel inneholde små mengder radioaktive stoffer. Strålingen fra disse er lav og ikke ansett som noen fare.

Figur nr. 2 er hentet fra en rapport utgitt av Statens strålevern [2], og viser en samlet oversikt over bidragene til den gjennomsnittlige stråledosen fra forskjellige typer kilder. Tallene refererer til verdien mSv (miliSievert) og summen av kakediagrammet gir en total eksponering på 5,2 mSv/år. Dette er gjennomsnittlig strålingsdose for et voksent menneske i Norge pr. år.

Som det fremgår av figuren så utgjør stråling fra bygninger og bakken til sammen 0,47 mSv, noe som utgjør 9 % av totalen på 5,2



Figur 1 [1]: Stråling kan komme fra enten mat og drikke, gjennom luft og ved bestråling fra eksterne kilder.

mSv. På bakgrunn av dette kan vi ikke påstå at noen bygningsmaterialer utgjør noen vesentlig strålingskilde og er derfor ikke forbundet med fare.

Betong som barriere for stråling

Betong er et tett og kompakt materiale. Betong egner seg derfor godt som barriere for å hindre den mest energirike ioniserende strålingen. På sykehus er det gjerne tykke vegger av betong i røntgenrom. Dette skal hindre at strålingen skal komme ut av røntgenrommet og kunne skade andre ansatte og pasienter.

Det er også eksempler på at betong brukes til å lagre radioaktivt avfall, for å hindre at dette lekker ut i naturen, samt at strålingen skal komme ut i miljøet.

Radongass

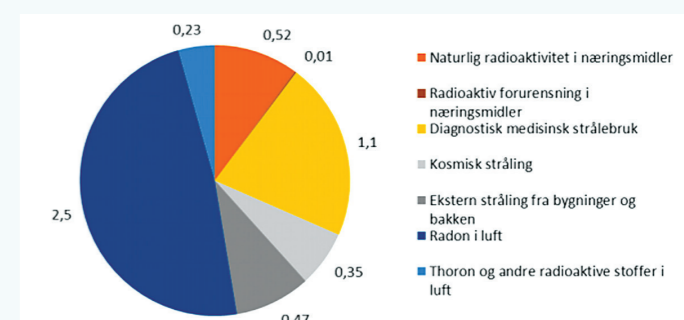
Nesten alle har hørt om radon og i figur 2 (neste side) ser vi at radon i luft utgjør om lag halvparten av bidraget til den årlige strålingsdosen vi mottar.

Radon er en usynlig og luktfri gass som kan sive opp fra bakken og inn i hus, gjerne gjennom sprekker i kjellere. Dette kan medføre at luften inne i en bygning anrikes på radon og når vi oppholder oss mange timer i bygningen hver dag, en-

ten det er hjemme, på skole eller på jobb, så utgjør dette en langvarig eksponering som vil være en fare.

Radon er altså en gass som avgis av visse bergarter under bakken og radon kommer ikke fra betong eller andre bygningsmaterialer.

I dag er det et krav at alle nye bygg skal ha radonsperre. Radonsperre er en membran som legges under eller inne i gulvet under den laveste etasjen. Membranen er gasstett og sørger for å hindre radon i å trenge inn i bygningen. Radonsperre er ment å skulle samvirke med betong for å kunne ligge helt i ro og holde seg tett.



Figur 2: Samlet oversikt over bidragene fra forskjellig type strålingskilder.

Kilder: 1. Statens strålevern: Strålevernsrapport 2015:11. Stråledoser fra miljøet. 2. Statens strålevern: Strålevernsrapport 2015:12. Stråledoser til befolkningen.

Moderne betongfabrikker fremmer sirkulærøkonomien

Da Betong Østs avdeling på Hamar mottok prisen for Årets Betongfabrikk i Norge 7. juni, viste dette hvordan moderne produksjonsanlegg har tatt gode grep for å fremme gjenbruk av materialer. Nye betongfabrikker jobber med mål om null avfall og på vegen mot dette målet løser de mange utfordringer som vil komme hele byggenæringen til gode- samt bidra til å hjelpe andre næringer inn i sirkulærøkonomien.

Jan Eldegard Hjelle
FABEKO

Betongfabrikker har to hovedutfordringer når de skal håndtere restprodukter. Den ene er betong som av ulike grunner kommer i retur fra byggeplassen. Den andre er vann og restprodukter fra vasking av biler og annet utstyr på betongfabrikken. De følgende løsningene benyttes i dag i stadig større omfang av de bedriftene som produserer fabrikkbetong.

Gjenbruk av returbetong

Den returbetongen som ikke forbrukes på byggeplassen kommer tilbake til betongfabrikken i betongbilen eller betongpumpa og brukes som materiale til støp av betongklosser og lodd som etter hvert er et etterspurt produkt med flere bruksområder. Noen stasjoner produserer flere tusen slike klosser hvert år og disse benyttes til ulike bruksområdene som vegger på gjenvinningsstasjoner, veisikring i forbindelse med større midlertidige arrangementer, flomsikring og til støttemurer hos privat og næring.

En annen måte å behandle returbetong er å blande inn spesialprodukter som Re-Con Zero som omdanner den til tilslagskuler i betongbilen og som gjør det mulig å benytte dette tilslaget inn i ny betong. Slike løsninger vil bidra til å gjøre produksjonsanleggene svært fleksible ved at det etableres flere mulige materialstrømmer fra gjenvinning av returbetong. Slik gjenbruk reduserer også mengde vann og restprodukter som oppstår ved vasking av betongbiler og utstyr på fabrikk.

De siste årene er det imidlertid sett en nedgang i mengde returbetong. Denne nedgangen skyldes



3.000. Betong Øst har totalt omsatt cirka 3.000 lodd årlig noe som tilsier i overkant 2.500 m³ med returbetong.
Foto: Betong Øst

bevisstgjøring hos entreprenørene med fokus på miljøeffekter og kostnader knyttet til å returnere betong til fabrikkene.

Gjenbruk av vaskevann

De fleste betongfabrikker bruker etter hvert et spesialanlegg for å ivareta vaskevann fra betongbiler og vask av andre deler i produksjonen. FABEKO Norsk fabrikkbetongforening har utarbeidet et designforslag for slike vaskeanlegg som flere av medlemmene benytter og tilpasser de lokale forholdene. Vaskevannet sedimenteres i tre tette kammer før overskuddet dokumenteres og enten slippes ut eller tilføres vannet som går inn igjen i produksjonen på betongfabrikken.

Behandling og gjenbruk av restprodukt fra vaskeanlegg

Sedimenteringsanlegget på betongfabrikken på Hamar er utført med skrå rampe i første kammer. Dette

kammeret tømmes med hjullaster etter behov. Vannet som fortsatt er i dette kammeret pumpes opp i en tom tank og restproduktene i form av et slam med finstoffer, kjøres ut og legges på en egen plate for avrenning med fall inn mot det første kammeret i anlegget. Vannet i tanken tømmes tilbake i kammeret før det er klart til bruk igjen. Sedimenteringsanlegget på Hamar er utført med tre kammer med resirkulering av vann for vask av biler innvendig. Anlegget får et overskudd på vann som tas ut fra det tredje kammeret og kontrollert pumpes ut i et eget vannbasseng for gjenbruk i form av produksjonsvann for ny betong. På Hamar er lagringsplaten for slam utført med snøsmelteanlegg som er koblet på en gassfyrte Polarmatic. Dette gir mulighet til å tørke slammet selv på vinterstid dersom behovet er der. På sommeren tørker slammet naturlig. De tørre restproduktene inneholder kalk og kan

benyttes som jordforbedring eller leveres til godkjent mottak. For å nå målene om null avfall fra betongproduksjon, vil det framtidig måtte utvikles nye anvendelsesområder for de avannede restproduktene fra vaskeanleggene.



VASKEANLEGG. Fabrikken på Hamar bruker som mange andre fabrikker i Norge, et vaskeanlegg for å ivareta vaskevann fra automikser og blandeanlegget.

Foto: Betong Øst

