

Rapport nr 2

**Økt fokus på MILJØ og KLIMAENDRINGER
NYE MULIGHETER FOR BETONG**

Norsk Betongforenings rapporter er utarbeidet av fagpersoner utnevnt av Norsk Betongforenings styre. Det er gjort det ytterste for å sikre at innholdet er i samsvar med kjent viten på det tidspunkt redaksjonen ble avsluttet.

Feil eller mangler kan likevel forekomme.

Norsk Betongforening, forfattere eller fagkomiteen har intet ansvar for feil eller mangler i rapporten og mulige konsekvenser av disse.

Det forutsettes at rapporten benyttes av kompetente, fagkyndige ingeniører med forståelse for begrensningene og forutsetningene som legges til grunn.

Norsk Betongforenings Miljøkomité



Økt fokus på MILJØ og KLIMAENDRINGER
NYE MULIGHETER FOR BETONG

Økt fokus på MILJØ og KLIMAENDRINGER NYE MULIGHETER FOR BETONG

Innholdsfortegnelse

0	FORORD / INNLEDNING.....	3
1	FORNYBAR ENERGI.....	4
1.1	INNLEDNING	4
1.2	VANNKRAFT	5
1.2.1	Hva er et vannkraftanlegg?	5
1.2.2	Små-, mini- og mikrokraftverk	6
1.2.3	Utbygd vannkraft	7
1.2.4	Vannkraftpotensialet i Norge	8
1.2.5	Utbygging av små kraftverk	9
1.2.6	Opprusting og utvidelse (O/U)	9
1.2.7	Fremtidig utvikling av norsk vannkraft	10
1.2.8	Bruk av betong og sementprodukt i vannkraft	10
1.2.9	Kilder til mer informasjon om vannkraft	10
1.3	VINDKRAFT	11
1.3.1	Generelt	11
1.3.2	Vindmøller på land	12
1.3.3	Vindmøller offshore	13
2	BETONGENS ROLLE I ENERGIEFFEKTIVE BYGG	16
2.1	FORORD	16
2.2	INNLEDNING	16
2.2.1	Kjøling, energikrav og termisk komfort	16
2.2.2	Hva er termisk masse?	17
2.2.3	Fordeleene med høy termisk masse	17
2.3	HISTORISK PERSPEKTIV	18
2.4	UTNYTTELSE AV TERMISK MASSE – BETONGLØSNINGER	18
2.4.1	Passiv termisk masse: eksponerte betongoverflater	18
2.4.2	Trombe vegg (Solakkumulerende vegg)	21
2.4.3	Betongkulvert for luftinntak	22
2.4.4	Termoaktivbygningssystem med luftsirkulasjon, Termodeck®	24
2.4.5	Temoaktivbygningssystem med vannsirkulasjon	25
2.5	FREMTIDENS BETONGLØSNINGER FOR ENERGIEFFEKTIVE BYGG	26
2.5.1	Vakuumisolasjonspaneler i sandwichelementer	26
2.5.2	Isolasjon med aerogel	26
2.5.3	Polybetong	26
2.5.4	Faseforandringer /Phase Change Materials (PCM)	27
3	ISTANDSETTING AV FORURENSEDE HAVNEOMRÅDER	28
3.1	INNLEDNING	28
3.2	STABILISERING OG SOLIDIFISERING AV FORURENSEDE HAVNESEDIMENTER	28
3.3	FORBEDRING AV VANNKVALITET, ØKT FISKEBESTAND OG ØKT MANGFOLD I SJØEN	29
3.4	EKSEMPLER	30
3.4.1	Trondheim havn	30
3.4.2	Hammerfest havn	31
3.4.3	Sandvika elvepromenade	33
3.4.4	Tjuvholmen nye bydel	33
4	KLIMAENDRINGER OG ØKT NEDBØR	37
4.1	PERMEABEL BETONG	37
4.1.1	Permeabel, drenerende betong til veier og plasser:	38

4.1.2	<i>Permeabel betong for erosjonssikring / og som vekstmedium.</i>	39
4.2	GABIONER MED KNUST TILSLAG	41
4.2.1	<i>Resirkulert tilslag</i>	41
4.2.2	<i>Gabioner</i>	41
4.2.3	<i>Eksempler</i>	42
4.3	HØYFAST BETONG TIL VEIDЕКKE	43
4.3.1	<i>Bakgrunn</i>	43
4.3.2	<i>Utvikling av høyfast slitesterk betong</i>	43
4.3.3	<i>Hvordan lage betong som gir et høyfast slitesterkt dekke?</i>	44
4.3.4	<i>Bruksområder</i>	45
4.3.5	<i>Hvorfor høyfaste slitesterke betongdekker?</i>	45
5	TRAFIKKUTFORDRINGER OG LUFTFORURENSING	46
5.1	INNLEDNING	46
5.2	NO _x -REDUSERENDE BETONG	46
5.2.1	<i>Bakgrunn</i>	47
5.2.2	<i>Reaksjonsprinsipp</i>	47
5.2.3	<i>Katalysatorer</i>	47
5.2.4	<i>Virkninger</i>	48
5.2.5	<i>Produktområder</i>	49
5.2.6	<i>Andre erfaringer</i>	50
5.2.7	<i>Bruksområder</i>	50
5.2.8	<i>Videreføring</i>	50
6	REFERANSER	51

0 Forord / Innledning

Miljø- og klimautfordringer får økende oppmerksomhet både i media og hos folk flest. Kanskje ofte i for stor grad konsentrerer man seg om de problemer dette skaper. Norsk Betongforenings Miljøkomite ønsker med denne rapporten å rette søkelyset mot noen av de muligheter miljøutfordringene gir for betongfaget.

I www.miljobasen.no er ”Nye muligheter” et av 12 hovedtemaer. Pr. 09.06.09 hadde basen 1041 referanser. 159 av disse omhandlet blant annet ”nye muligheter”. Etter en gjennomgang av www.miljobasen.no og en intern prioriteringsrunde i komiteen har vi valgt å fokusere på de temaer som komiteen i dag ser som mest interessante for norsk betongfag innen et rimelig tidsperspektiv. Listen over muligheter som ikke rakk opp i prioriteringen denne gang er betydelig og kan bli gjenstand for bearbeidelse ved en senere anledning.

Rapporten er utarbeidet av Norsk Betongforenings Miljøkomité, bestående av:

Per Jahren (leder)	P.J. Consult
Stefan Jacobsen	NTNU
Knut O. Kjellsen	Norcem
Agnar Løbakk	Unicon
Hallvard Magerøy	Fabeko
Synnøve A. Myren	Statens vegvesen
Helge Brå	Sintef
Morten Bjerke	Tekna

Kapittel 1

Ansvarlig: Stefan Jacobsen – med bistand fra Per Jahren og dr.ing Lars Jenssen (1.am. NTNU/Inst for vann og miljø – Vassdragslaboratoriet)

Kapittel 2

Ansvarlig: Agnar Løbakk – med bistand fra Catherine Grini fra Sintef Byggforsk

Kapittel 3

Ansvarlig: Knut O. Kjellsen – med bistand fra Per Jahren

Kapittel 4

Ansvarlig: Synnøve A. Myren – med bistand fra Per Jahren og Hallvar Magerøy

Kapittel 5

Ansvarlig: Per Jahren

1 Fornybar energi

1.1 Innledning

Sement og betong er både forbruker av energi, og et viktig materiale i en intensivt aktivitet for å utvikle fornybare energikilder. Sementindustrien i Norge har så langt foretatt større erstatning av fossilt brensel med biobrensel i sementprosessen enn 20 % regelen tilsier [Norsk Betongforening 2009]. I 20 % - regelen som ble vedtatt i EU i 2008 og 2009, skal man imidlertid ikke bare redusere CO₂-utslipp med 20 % innen 2020, man skal også ha en 20 % økning i bruk av fornybar energi i forhold til energiproduksjon som innebærer utslipp av klimagasser.

Selv om det fremdeles er ny elektrisk energi fra kullkraft som dominerer verdensstatistikken (Det åpnes et nytt kullkraftverk hver uke, hvorav halvparten i Kina), er satsingen på fornybar energi klart i framgang. En artikkel i Teknisk Ukeblad i slutten av 2009¹, viser med henvisning til EWEA at det nå er vindkraft som er størst med hensyn til ny energiproduksjon i EU.



Figur 1: Fordeling av ulike typer energikapasitet installert i EU i 2008¹

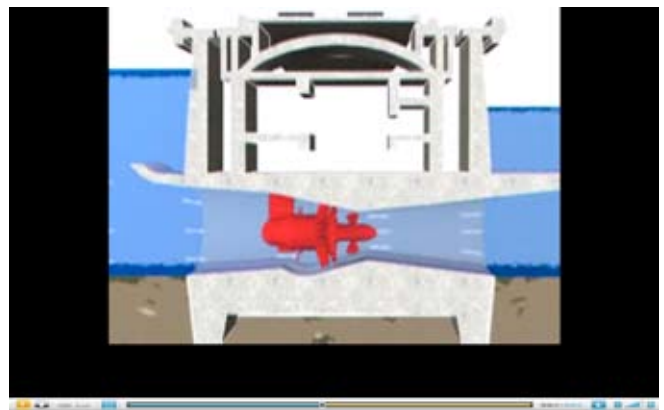
Den økte satsingen på fornybare energikilder i verden, og også i Norge, i årene framover, vil gi en rekke nye muligheter for betongindustrien. Ved produksjon av elektrisitet fra; - tidevanns-, bølge- og atomkraftverk, vil betong være det viktigste byggematerialet. I denne rapporten har vi imidlertid konsentrert oss om mulighetene innen de utbyggingsområder vi tror vil ha størst betydning i Norge de nærmeste 10 til 20 årene, nemlig, vannkraft og vindkraft.

Alternativene skal imidlertid ikke glemmes. Som eksempler refereres til Aftenposten 17.08.2009², som blant annet nevner at;

- StatoilHydro og Scottish Power har kjøpt seg opp i grunderselskapet Hammerfest Strøm, som skal forsyne 40 000 britiske husstander med strøm fra tidevannsturbiner i 2011, og at 40 tidevannsturbiner er høyaktuelle for utplassering i området mellom Skottland og Orknøyene.
- Statoil/Hydro har investert i bølgekraftselskapet Pelamis Wave Power, som åpnet et anlegg utenfor kysten av det nordlige Portugal i september 2008.

- Fred Olsen-selskapet Fobox, som har utviklet egen bølgekraftteknologi, planlagt for et prosjekt på Karmøy, flagger ut, - og integrerer teknologien i en stor bølgefarm utenfor Cornwall i England.

Betong er i praksis så langt det klart viktigste byggematerialet for tidevannskraft. Innen det store utvalg av teknologier for bølge-, havstrøm- og tidevannskraft ble verdens største tidevannskraftverk, Rance i Bretagne, bygget i betong i 1966. Det er en sk. "gravity based" betongkonstruksjon. Turbineffekten er 240 MW. Til tross for de høye utviklingskostnadene ved prosjektet, er utgiftene nå tilbakebetalt, og energiproduksjonskostnadene lavere enn for kjernekraft. Potensialet er stort; i Storbritannia har man estimert at 20 % av elektrisiteten kan erstattes av tidevannskraft³. Franske ingeniører har beregnet at hvis tidevannskraft ble implementert tilstrekkelig på global basis, ville jordrotasjonen reduseres med 24 timer hver 2000 år⁴. (Vi blir altså eldre av å bli mere miljøvennlige! ☺) Mere informasjon om verdens største tidevannskraftverk finnes på hjemmesiden til eieren Electricité de France⁵. Et regnestykke på hva norske fjorder kunne produsert på denne måten hadde vært interessant selv om tidevannsforskjellene er vesentlig mindre her enn langs kanalkysten. Mange av våre fjorder har grunne terskler hvor det ofte er plassert bruer som sårt trenger rehabilitering.



Figur 2: Rance tidevannskraftverk i Bretagne – verdens største og bygd av betong⁵

1.2 Vannkraft

Først beskrives hvilke hovedkomponenter et vannkraftanlegg består av. Deretter er det litt statistikk om utbygd vannkraft i Norge og potensialet for videre utbygging. Til slutt går vi inn på hvordan betong blir brukt i vannkraftanlegg.

1.2.1 Hva er et vannkraftanlegg?

Et vannkraftanlegg bruker vannets potensielle energi til å produsere elektrisk strøm. Vannet tas inn i høyden, ledes gjennom en turbin og slippes ut på et lavere nivå. Turbinen driver en generator som produserer elektrisk strøm. Et vannkraftverk kan bestå av følgende hovedkomponenter:

- reguleringsmagasin
- dam (demning)
- inntak
- vannvei
- kraftstasjon med turbin og generator

Vannet oppstrøms dammen kalles magasin. I et reguleringsmagasin lagres vann som skal brukes til å produsere strøm. I Norge lagres vannet fra vår og høstflommene, for å produsere strøm på vinteren. Småkraftverk har vanligvis ikke reguleringsmagasin, og må bruke det vannet som er tilgjengelig i elven.

Dammen (demningen) hever vannspeilet slik at vi får et magasin. De kan være fra noen få meter til flere hundre meter høye. Det er to hovedtyper av dammer, fyllingsdammer og betongdammer. I Norge består fyllingsdammene vanligvis av sprengt stein med en kjerne av tett materiale, f.eks. morene eller asfalt. Noen fyllingsdammer har tetting av betong, enten som en sentral vegg, eller som en plate på oppstrøms side.

Gravitasjonsdammen er den vanligste typen av betongdammer. Den er massiv og motstår vanntrykket ved sin egen vekt. Vannsiden er nesten vertikal, og luftsiden er litt brattere enn 45°.

Hvelvdammer (buedammer) krummer mot magasinet, slik at buevirkningen overfører vanntrykket til fundamentene. De brukes derfor i trange kløfter. Altadammen og Zakariasdammen er buedammer.

Platedammer består av en betongplate støttet av betongpilarer hver 5-6 m. Plate og pilarer er ca. 30-50 cm tykke.

Det finnes og andre damtyper, men de er ikke så vanlige. Steinkister, som består av tømmerkasser fylt med stein, og med en plankevegg som tetting, ble mye brukt som fløtningsdammer. Bukkedammer, jorddammer, murdammer er andre damtyper som fremdeles eksisterer, men som vi sjelden bygger i dag.

Selv om kraftverket ikke har et reguleringsmagasin, har det vanligvis en dam. Dammen er nødvendig for å heve vannspeilet i elva og lede vannet til inntaket. Inntaket er forbindelsen mellom magasinet og vannveien. I tilknytning til inntaket er det ofte en varegrind som skal stoppe drivgods, en luke for å stenge inntaket og et hus som beskytter inntaket.

Vannveien leder fra inntaket til kraftstasjonen. I store kraftverk består mesteparten av vannveien av tunnel, men nær kraftverket går tunnelen over til stålrør som kobles til turbinene.

For små kraftverk er vannveien vanligvis et rør av stål, støpjern, betong eller plast. Rørgaten kan ligge fritt i dagen, men for å skåne miljøet blir den ofte gravd ned.

Vannveien leder til kraftstasjonen, der vi finner turbin og generator. De fleste store kraftverk i Norge, har kraftstasjonen i en hall i fjellet. Det er den naturlige løsningen når man bruker tunnel til å lede vannet. Stasjonen til mindre kraftverk er vanligvis et hus i dagen.

Etter kraftstasjonen ledes vannet tilbake til elven, enten ved direkte avløp eller gjennom en tunnel eller kanal.

1.2.2 Små-, mini- og mikrokraftverk

Installert effekt er et mål på kraftverkets størrelse. Verk med installert effekt opp til 10 MW (megawatt) betegnes som små vannkraftverk og deles gjerne inn i følgende kategorier:

- Mikrokraftverk: under 100 kW (kilowatt)

- Minikraftverk: 100 kW - 1000 kW
- Småkraftverk: 1000 kW - 10 000 kW

Installert effekt har blant annet betydning for søknadsprosess og konsesjonsbehandling. NVE kan gi konsesjon for kraftverk mindre enn 10 MW, mens Stortinget avgjør konsesjon for større verk.

Små vannkraftverk etableres ofte i bekker og mindre elver uten reguleringsmagasin. Kraftverkenes produksjon vil da variere med tilsiget av vann.

1.2.3 Utbygd vannkraft

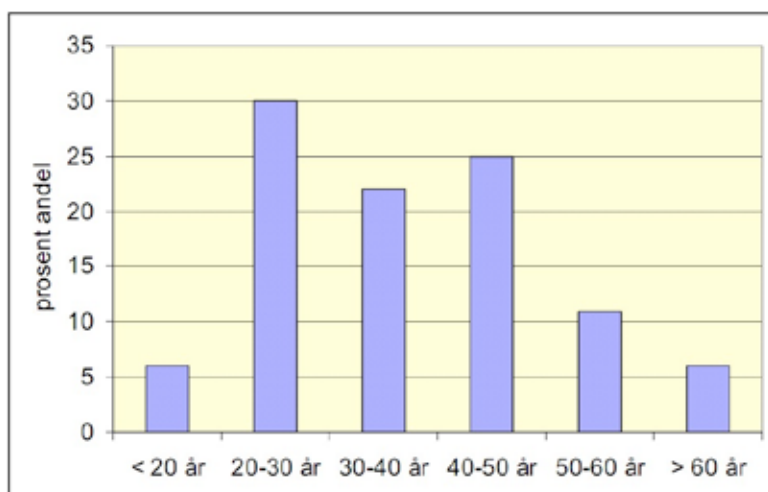
På verdensbasis er teknisk utbyggbar årsproduksjon 14 000 TWh (terrawatt-timer). Av dette er 8000 TWh økonomisk utbyggbart. I 2005 var verdens vannkraftproduksjon 2645 TWh/år. Det utgjorde 16 % av verdens el-produksjon og nær 90 prosent av all fornybar el-produksjon. På verdensbasis er bare 1/3 av utbyggbar vannkraft utnyttet; 65 % i Europa, 61 % i Nord-Amerika, 7 % i Afrika.

Vannkraft står for 98 % av Norges el-produksjon, og vil være den viktigste kilden til elektrisk kraft i lang tid framover. I 2006 var midlere årsproduksjon ca. 120 TWh, og installert effekt i norske kraftverk ca. 28 000 MW. I Norge er det ca 1100 kraftverk (Figur 3), Kvilldal kraftverk i Rogaland har størst installert effekt, 1240 MW. Tonstad i Vest-Agder har størst produksjon, 4169 GWh (gigawatt-timer).

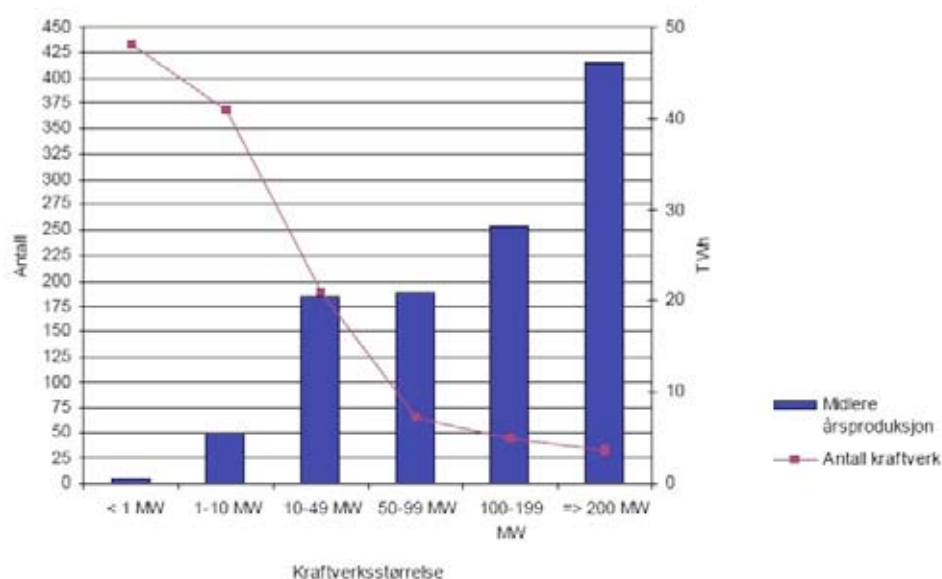
Det er 175 selskap som produserer kraft i Norge. De 10 største produsentene disponerer nesten 70 % av produksjonskapasiteten. De største produsentene er: Statkraft, BKK, Norsk Hydro, E-Co, Lyse, Agder Energi, Skagerak og Nord-Trøndelag E-verk.

Den største delen av vannkraften i Norge ble bygget ut mellom 1950 og 1990. En stor del av anleggene har høy alder (Figur 4). På sikt vil det bli stort behov for å fornye systemet.

Opplysningene i dette avsnittet er i hovedsak hentet fra *Energi21, Rapport fra innsatsgruppen om fornybar kraft*⁶, og NVEs hjemmesider⁷.



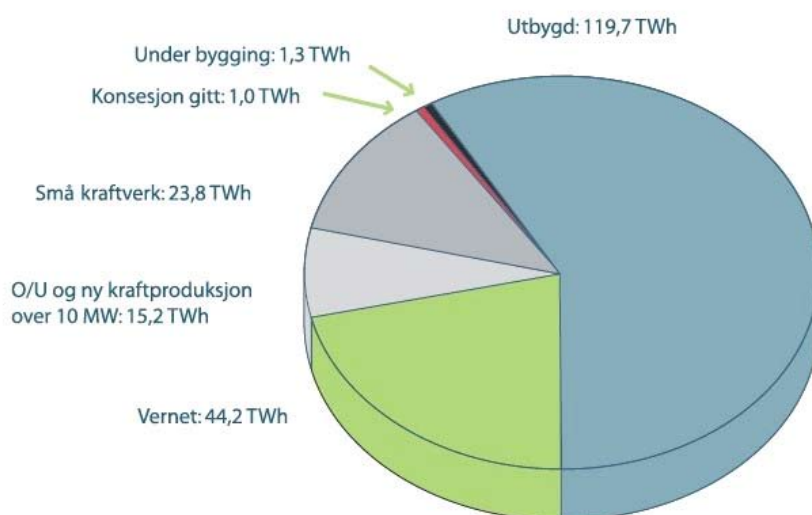
Figur 3: Alder på norske vannkraftverk etter installert effekt og alder



Figur 4: Antall kraftverk og samlet midlere årsproduksjon fordelt etter installert effekt

1.2.4 Vannkraftpotensialet i Norge

I Norge er gjenværende potensial for utbygging av små kraftverk (< 10 MW) ca. 24 TWh. Potensialet for oppgradering, utvidelse og ny produksjon større enn 10 MW, er ca. 15 TWh. 44 TWh er vernet (Figur 5).



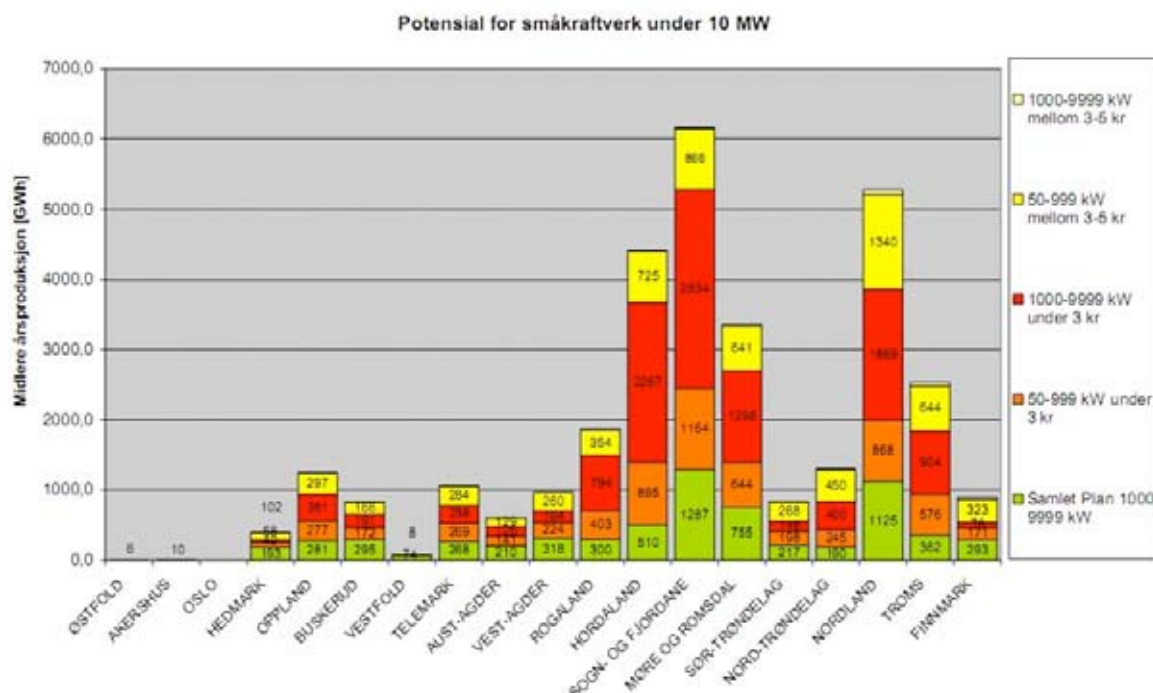
Figur 5: Vannkraftpotensialet i Norge i 2006 (kilde fornybar.no)

Samlet plan ble etablert på 1980 tallet for å få koordinere en nasjonal utnyttelse av vassdragene. Mulige utbygginger ble vurdert etter konfliktgrad og økonomi, og rangert i ulike kategorier. De billigste og minst konfliktfylte ble plassert i kategori I, som gir mulighet for å søke konsesjon. Kraftverk med installasjon opp til 10 MW er fritatt for behandling i samlet plan. Med implementering av EUs vanndirektiv, vil *Samlet plan* systemet sannsynligvis bli avviklet. Mer om samlet plan kan du finne på www.nve.no⁷ og www.dirnat.no⁸.

1.2.5 Utbygging av små kraftverk

En stor del av potensialet for ny vannkraft er fra små kraftverk. For å øke utbyggingsinteressen har myndighetene blant annet forenklet konsesjonsbehandlingen. NVE har kartlagt småkraftressursene. Kartleggingen er beskrevet i NVE rapport 19 / 2004 *Beregning av potensial for små kraftverk i Norge* (se www.nve.no) som blant annet viser potensialet etter fylke (Figur 6). På NVEs karttjeneste kan man finne hvor prosjektene er plassert⁹.

Av potensialet på 24 TWh, mener NVE at det er realistisk å realisere 5 til 10 TWh i løpet av de neste ti årene. I februar 2009 lå det ca. 5 TWh til konsesjonsbehandling hos NVE. Hvis vi antar en gjennomsnittlig utbyggingspris på 1,5 kr per kWh, innebærer det investering på 7,5 til 15 milliarder kroner.



Figur 6: Potensialet for små kraftverk fordelt på fylke og utbyggingspris.

1.2.6 Opprusting og utvidelse (O/U)

Opprusting av eksisterende kraftverk innebærer f.eks. å redusere falltapet ved å øket tunneltverrsnittet eller å installere nye turbiner med bedre virkningsgrad. Utvidelse kan innebære å overføre vann fra nye felt, å øke magasinkapasiteten eller å øke anleggets kapasitet (slukeevne).

Opprusting av kraftverk og reduksjon av flomtap har et teoretisk potensial på anslagsvis 15 TWh, men med dagens markedsbetingelser er det bare anslagsvis 2 TWh av dette som er teknisk/økonomisk interessant.

1.2.7 Fremtidig utvikling av norsk vannkraft

Generelt er det et stort behov for å erstatte energiproduksjon basert på fossilt drivstoff med fornybar energiproduksjon. I Norge er vannkraft den viktigste kilden til ny fornybar elektrisitetsproduksjon. Regjeringen har signalisert sterk støtte til utbygging av ny småkraft, og NVE anslår at det vil bli bygget ut 5 til 10 TWh småkraft innen 2020

Gjennomsnittsalderen for norske vannkraftverk er anslagsvis 40 år. I fremtiden vil vedlikehold av eksisterende vannkraft utgjøre en betydelig aktivitet. Det kommer delvis i tillegg til O/U potensialet som er beskrevet over. Vedlikehold er nødvendig, selv om det ikke fører til ny kraftproduksjon. Fordi det er kostbart å stoppe et kraftverk for omfattende vedlikehold og oppgradering, har man flere steder bygget nytt kraftverk parallelt med det gamle.

Norge har som ambisjon å bli en stor leverandør av vindkraft. Det vil, paradoksalt nok, øke behovet for effekt fra vannkraftverk. Når det slutter å blåse, må annen energiproduksjon inn på nettet. I motsetning til atom- og kullkraft, er vannkraft lett å regulere. Det kan bety utbygging av nye vannkraftverk som skal levere effekt.

1.2.8 Bruk av betong og sementprodukt i vannkraft

Betong og sement er i utstrakt bruk i små vannkraftverk. De fleste har dam og inntak av plasstøpt betong. Betongrør brukes til å lede vannet til kraftstasjonen, men mange andre rørmateriale er også i bruk. Klosser av betong brukes til å forankre rørgaten. I kraftstasjonen brukes betong på vanlig måte i vegger og dekker, og til innstøping av turbintromme, rør og ventiler, og i avløpskanalen.

I større kraftverk brukes også mye betong. Mange dammer blir bygget i betong, selv om fyllingsdammer også er vanlig. I forbindelse med vannveien, som ofte er en tunnel, brukes betong til inntaket, til portaler og til innstøping av luker, rister, rør og porter. Sprøytebetong brukes til sikring av tunnelen. Injisering av ulike sementprodukt brukes for tetting av fjell i damfundament, rundt luker osv. Selv om kraftstasjonen ligger i fjell, brukes betong til kranbane, vegger, dekker, fundament og innstøping av rør og turbin.

1.2.9 Kilder til mer informasjon om vannkraft

På NVEs hjemmeside⁷ finnes både informasjon om vannkraftressursene i Norge, om regelverk og saksgang for utbygging av vannkraft, og teknisk veiledning vannkraftverkets ulike deler.

Energi Norge, tidligere Energibedriftenes landsforening, er en bransjeorganisasjon for bedrifter som produserer, transporterer og omsetter energi. De organiserer ulike fagaktiviteter rettet mot energiproduksjon, blant annet kurs og forskning. Mer informasjon kan du finne på www.energinorge.no¹⁰.

*Småkraftforeningen*¹¹ er rettet mot de som eier mikro-, mini- eller småkraftverk. Foreningen arbeider for å bedre rammevilkårene for medlemmene. Foreningen utgir bladet *Småkraftnytt*.

I 1989 ble *European Small Hydropower Association* (ESHA) stiftet etter initiativ fra Europakommisjonen. ESHA, som holder til i Brussel, arbeider for utvikling av små vannkraftverk i Europa. Du finner mer på www.esha.be¹².

1.3 Vindkraft

1.3.1 Generelt

Vindkraft er allerede en betydelig elektrisk energikilde i Europa.



Figur 7: Vindkraft installert i Europa iflg.¹, med referanse til den europeiske vindkraftorganisasjonen EWEA

Som det framgår av kartet ovenfor er det Tyskland og Spania som har klar lederposisjon i produksjon av elektrisk kraft fra vind i Europa. Media forteller oss imidlertid til stadighet, at Norge er et av de landene som har de beste forutsetningene for denne type kraftproduksjon, men det synes å være vanskelig å komme ut av startgropene. Selv i forhold til Sverige og Danmark er vi sinker.

I en annen artikkel av Kjetil Malkenes Hovland¹³, nevnes at den europeiske vindkraftorganisasjonen EWEA, har som mål at det innen 2020 skal være investert 40 GW i Europa. Dette tilsvarer omtrent like mye som hele den norske vannkraften.

EWEA tror at vi vil få 150 GW havkraft innen 2030, med en samlet produksjon på 563 TWh. De tror at vindkraft i 2030 vil stå for over 30 % av EU's energiproduksjon.

Men, det koster mye. Man tror at det vil bli investert 150 milliarder kroner i vindkraft bare i 2030, og at de totale investeringer fram til 2030 vil bli omtrent 1200 milliarder kroner. Hvor mye vindkraft som praktisk kan utnyttes fra den kinetiske energien til jordatmosfæren er et annet interessant spørsmål. Trolig er både tilgjengelig energimengde og effekt på jordrotasjonen vesentlig lavere enn for tidevannskraft. Kostnadssiden har vi ikke sett på, kfr sammenligningen tidevann - atomkraft for Rance-anlegget i Bretagne.

1.3.2 Vindmøller på land

Spania er allerede nummer 2 i Europa og har bygget ut store vindmølleparker. Når man reiser over de spanske høyslettene, er det ikke mange steder man ikke ser vindmøller i horisonten. Spania har tatt mål av seg til å bli Europa's ledende på vindkraft, og også den prefabrikerte betongindustrien er med på satsingen.

På nettstedet til INNEO TORRES finner vi opplysninger om deres løsninger¹⁴.



Figur 8: Vindmølle i prefabrikkert betong fra spanske Inneo Torres¹⁴

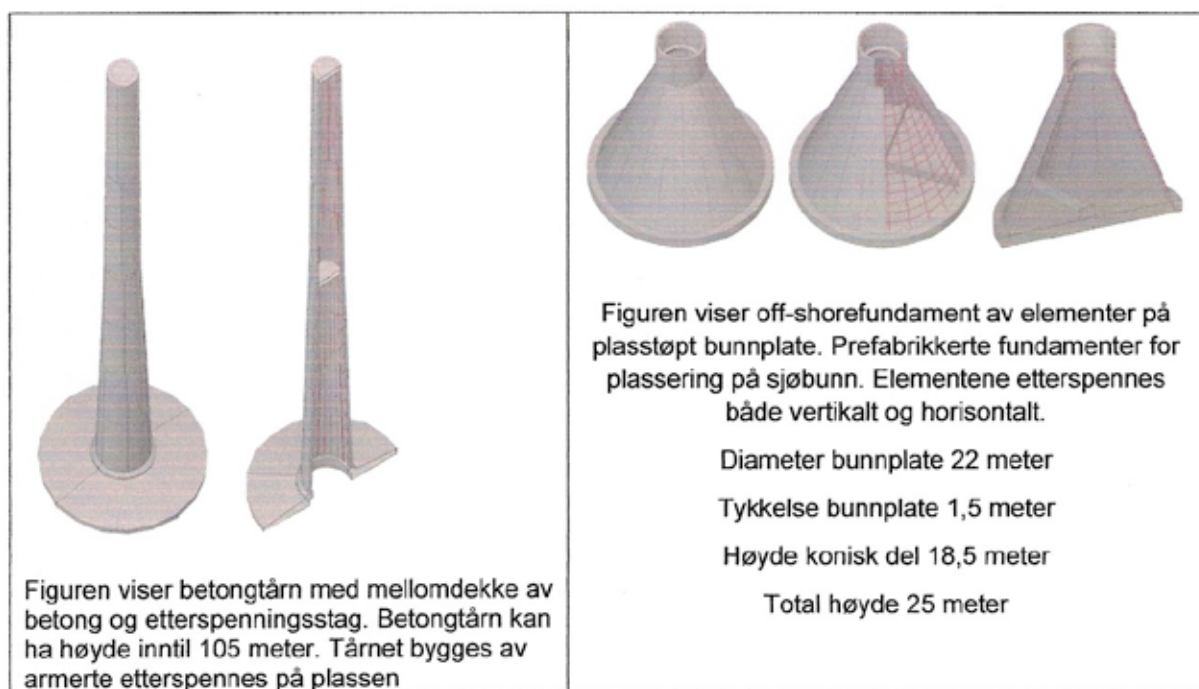
Inneo Torres opplyser at deres prefabrikerte betong-tårn er beregnet for høyder fra 80 til 140 meter. De er beregnet for generatorer på 1,5 MW for 80 meter, 2 til 4 MW for 100 meters høyde, og opp til 5 MW for de høyeste tårnene. Møllene har en godkjenningsordning med Germanische Lloyds. De opplyser at etter at fundamentene er klare, så skjer montasjen på en dag.



Figur 9: Transport og montasje av Inneo Torres vindmølle-elementer¹⁴

Kontakt med flere spanske produsenter av prefabrikerte betongelementer høsten 2009, viser at flere produsenter arbeider med egne løsninger. Med krav om stadig økende tårnhøyder, er sammenføyingsteknikken en utfordring, med de betydelige kreftene som skal overføres. Blant annet det tyske firmaet Phifer, har spesialisert seg på ankersystemer til vindmøller, og tillegg til mange vindmøllebilder og illustrasjoner inneholder firmaets katalog informasjon om at de er medlem av BWE (Tysk vindenergiforening).

Hjemmesiden til Spenncon i Norge, har også informasjon om prefabrikerte betong vindmøller¹⁵. De forteller at kravene til vindmølletårn stadig har øket, fra 10 meter i 1970, til opp til 140 meter i dag. Kravene til turbinstørrelse har økt fra 5-10kW til 5-6 MW i dag. De forteller at betongtårnet representerer ca. 20 % av de totale kostnadene ved vindturbinanlegg. Noen av tårnene er hybrid-tårn (betong og stål). Bård Johansen fra Spenncon forteller i en E-mail 07.12.09., at de første hybridtårnene vil bli levert av Spenncons morsselskap og montert i løpet av 2010.



Figur: Ferdig betongelementløsning for betongtårn på land og bunnfaste off-shore fundament for vindmøller fra Spenncon/Consolis [www.spenncon.no]

1.3.3 Vindmøller offshore

En rekke norske selskaper, også innenfor betongsektoren er allerede i lang tid i ferd med å planlegge og forberede seg på en gigantisk utbygging. Dette kalles av enkelte et nytt "energieventyr" med henvisning både til norsk vannkraftutbygging, og oljeaktivitet. StatoilHydro har besluttet å bygge verdens første fullskala flytende vind - turbin, HYWIND, og teste denne utenfor kysten av Karmøy over en toårsperiode¹⁶. Informasjonen forteller om kostnader på 400 millioner kroner og en vindturbin på 2,3 MW. Rotorbladene på vindmøllen skal være 80 meter i diameter og konstruksjonen vil ha draft på ca. 100 meter under havnivå. Løsningen er basert på vanndybder fra 120 til 700 meter. En tre meter høy modell har vært testet av SINTEF Marintek.

Det er tydeligvis aktivitet på denne sektoren hos en rekke aktører for tiden, også mange betongrelaterte.

Utsagn fra fagmiljøene sier at betong vil bli det mest konkurransedyktige konstruksjonsmaterialet, når man kommer så langt at man får i gang serieproduksjon. Enkelte miljøer er i den pågående utviklingsfase, både teknisk og markedsmessig, tilbakeholdne med å gi informasjon. Noen initiativ er imidlertid kjent fra fra presseoppslag;

Vici Ventus

Byggeindustrien Nr 13 -2009¹⁷ forteller at AF Gruppen, Dr.techn. Olav Olsen og Lyse har etablert selskapet Vici Ventus. Et av formålene er å utvikle, bygge og installere kostnadseffektive fundamenter i betong for vindturbiner.

Selskapet har ulike fundamentkonsepter med egenskaper for ulike anvendelser.

Betongunderstellet kan monteres sammen med tårn og turbin innenskjærs. Understellene er også konstruert slik at de kan bære vekten av den ferdige vindturbinen under utslep til vindparkene offshore, der de fyller understellet med vann for å sette konstruksjonen på havbunnen.



Figur 10: Vici Ventus betongunderstell¹⁷

Av opplysninger fra andre presseoppslagene i det senere år, nevnes også.

- Statoil/Hydro og Statskraft bygger vindpark utenfor kysten av Norfolk i Storbritannia, med en prislapp på 10 milliarder kroner²
- Vattenfalls havvindpark i Øresund, Lillegrund med 48 turbiner med 110MW, produserer 360 GWh årlig. Over sundet utenfor København ligger det ni år gamle vindkraftverket Middelgrunden med 40MW. Dette er bare småtterier i forhold til det som er under planlegging, for eksempel Horns rev 2., 30 km ute i havet, med 209 MW, og en forventet årlig strømproduksjon på 500 GWh fra 91 turbiner¹³

-
- Utenfor kysten av Danmark skal det de neste 5-6 årene plasseres vindmøller som skal produsere 16,7 GW, som tilsvarer forbruker til 35 millioner europeiske husstander. (Aftenposten, med henvisning til Børsen)¹⁸
 - Høgskulen i Sogn og Fjordane har som del av et nytt forskningsprosjekt regnet på hvor mye Sogn og Fjordane kan tjene på vindkraft til havs. Dersom fylket bygger offshore vindkraft tilsvarende 0,5 % av Norges potensiale, tilsvarer dette 70 TWh, eller 5 ganger vannkraftproduksjonen i fylket¹⁹
 - I Storbritannia skal det i størrelsesorden investeres 500 milliarder kroner for å bygge 5000 vindturbiner offshore de kommende 15-20 år¹⁷
 - En vestlandsk vindklynge på ca. 20 bedrifter samarbeider for å kapre deler av det europeiske markedet, hvor man tror at det vil bli bygget opp mot 10 000 faste vindturbiner i Nordsjøen de neste 5 til 10 årene²⁰. De mener at det vil bli gigantiske satsinger både i Tyskland og England, og at UK vil installere 25 GW vindkraft offshore, med investeringer på flere titalls milliarder kroner.

2 Betongens rolle i energieffektive bygg

2.1 Forord

Generelt anses energieffektivisering å være det klimatiltaket som vil gi de største og raskeste klimagassreduksjonene²¹. Videre er energieffektivisering i bygg vurdert blant de billigste og mest lønnsomme løsningene.

Stasjonært energibruk knyttet til bygninger i Norge var for 2007, ca. 80 TWh. Potensialet for energieffektivisering antas å ligge mellom 10 og 12 TWh innen 2020^{22, 23}.

Både nasjonale og internasjonale beslutningsorganer er blitt gjort oppmerksom på energieffektiviseringspotensialet som ligger i bygningsmassen. Dette gjenspeiles i forskjellige vedtak, blant annet EUs direktiv for energieffektivitet i bygninger fra 2002²⁴.

Energikravene i *Teknisk Forskrift til Plan- og bygningsloven* som ble utgitt i februar 2007 i kjølvannet av EUs direktivet utgjør en betydelig skjørpelse av tidligere regelverk angående energibruk i bygninger^{25, 26, 27, 28}. Videre har myndighetene varslet en trinnvis innstramming av energikravene, der kravnivået skal revideres minst hvert 5. år, med jevnlig skritt i retning av nullutslippsbygg^{29, 30}. Dette er i tråd med Europaparlamentets intensjon om at alle nye bygg innen 2020 skal være tilnærmet nullutslippsbygg³¹.

Energieffektivisering i bygg er kommet på dagsordens for å bli!

2.2 Innledning

2.2.1 Kjøling, energikrav og termisk komfort

Det har i lang tid ikke vært behov for å fokusere på kjøling i den norske bygningsmassen og følgelig er det ikke tradisjon i Norge for å bevisst utnytte termisk masse i bygninger. I de senere år er det blitt bygget mange kontorbygninger med utstrakt bruk av glass, uten utvendig solskjerming for å minimere solstrålingen og med store elektriske effekter til belysning og kontorutstyr. For å ivareta den termiske komforten er det i disse byggene installert store kjøleanlegg med kjølebatteri og kjølekonvektorer, som påvirker energiregnskapet betydelig. Romkjøling i kontorbygg med kjøleanlegg antas å bruke mellom 10 og 30 kWh/m²·år, i enkelte tilfellet opptil 60 kWh/m²·år^{32, 33}.

Energikravene i *Teknisk Forskrift til Plan- og bygningsloven*^{25, 26, 29} er blitt utarbeidet med sikte på robuste bygningskropper. Energibruken som går til romkjøling kan være betydelig og er uønsket. Følgelig bygger energikravene på en forutsetning om at bygningskroppen i norske bygninger skal utformes slik at den termiske komforten kan ivaretas kun ved hjelp av ventilasjonsluften, uten behov for lokal kjøling. Energieffektiviseringen i bygg skal harmonere med lite/lavt behov for kjøling og god termisk komfort. Dette er mulig å få til i bygninger med høy termisk masse.

2.2.2 Hva er termisk masse?

Et byggematerial sies å ha en høy termisk masse, når materialet har en stor varmekapasitet (C_p), en stor massetetthet (ρ) og en høy termisk konduktivitet (λ). Betongen er et slik materialet og har et energimessig fortrinn fordi den har evnen til å ta opp og lagre store mengder energi fra omgivelsene ved å endre sin egen temperatur. Stein og teglstein er andre eksempler på materialer med høy termisk masse.

En bygning med høy termisk masse er bygd med materialer av høy termisk masse. Bygningens normaliserte varmekapasitet (C'') uttrykkes i $\text{Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Jo større er dette tallet, desto høyere er bygningens termisk masse. Norsk standard for beregning av bygningers energiytelse NS 3031:2007²⁸ skiller på 5 bygningstyper: meget tung bygning (veldig høy termisk masse), tung bygning (høy termisk masse), middels tung bygning (middels termisk masse), lett bygning (lite termisk masse) og meget lett bygning (veldig lite termisk masse). Se Tabell 1 for beskrivelse av disse bygningstyper.

Tabell 1: Veiledende verdier for en bygning normaliserte varmekapasitet (C''), iht. tabell B4 i NS 3031:2007

Bygg	C'' [Wh/(m ² ·K)]	Beskrivelse (eksempel på innvendige overflater)
Meget tung bygning	164	Ekspontert betong i himling, tynt gulvbelegg over etasjeskiller i betong, yttervegg i tegl, 50 % tunge skillevegger
Tung bygning	112	Hovedsaklig ekspontert betong i himling (70 %), tynt gulvbelegg over etasjeskiller i betong, yttervegg i lett bindingsverk, lette innvendige skillevegger
Middels tung bygning	65	Lite ekspontert betong i himling (20 %), parkett over etasjeskiller i betong, yttervegg i lett bindingsverk, lette innvendige skillevegger
Lett bygning	34	Alt himlingsareal med akustisk himling, teppe over etasjeskiller i betong, yttervegg i lett bindingsverk, lette innvendige skillevegger
Meget lett bygning	17	Lett bjelkelag med dobbelt gipslag, tynt gulvbelegg på lett bjelkelag med 22 mm spon, yttervegg i lett bindingsverk, lette innvendige skillevegger

2.2.3 Fordelene med høy termisk masse

I tunge lavenergibygger kan man utnytte den høye termiske massen på forskjellige måter:

1. Om sommeren, for å fjerne behovet for romkjøling. Varmelasten absorberes av den termiske massen på dagtid og fjernes om natten ved hjelp av nattventilasjon.
2. Om sommeren, for å unngå overoppheting. Den termiske massen absorberer varmelasten og mykner temperatursvinginger i bygget.
3. Om våren, for å redusere oppvarmingsbehovet. Den termiske massen absorberer på dagtid solstrålingen fra den lave vårsolen og slipper den igjen om kvelden når utetemperatur synker. Dette kan også gjelde om vinteren med interne varmelaster (belysning og elektrisk utstyr) istedenfor solstråling.
4. Om vinteren, for å redusere installert effekt til oppvarming. Den termiske massen varmes opp på dagtid (da utemperaturen er på det høyeste nivået) og gir varmen tilbake til omgivelsen på natten (da utetemperatur synker) slik at effekttoppen til oppvarming reduseres.

2.3 Historisk perspektiv

Siden oldtiden har det eksistert bebyggelser som har utnyttet det eksisterende landskapet. Det finnes mangfoldige eksempler over hele verden: bygninger utført delvis i grotter, gravd ned i jorden, bygd inntil fjellet. Men denne bebyggelsen hører ikke kun fortiden til. I Sør-Europa finner man flere eksempler på huleboerbebyggelse fortsatt i bruk i dag: boliger, vinkjeller, lager, verksted, oppdrettskjeller for dyrking av sjampinjonger. Felles for disse bygningene er de termiske forholdene. Romtemperaturen holdes tilnærmet konstant året rundt, uavhengig av strømmtilførsel, takket være jordmassene. Videre finnes det eksempler på tunge steinbygninger med tilnærmet like termiske egenskaper (for eksempel katedraler fra middelalderen i Sør-Europa). Slike bebyggelser finnes i land med varmt klima der man ønsker å beskytte seg mot høye utetemperaturer og høy solstråling. En annen anvendelse er bygg der man ønsker en stabil innetemperatur med moderate svingninger, uavhengig av strømmtilførsel og evt.strømbrudd (eks. vinkjeller, arkiv, lager). Eksempelvis har man for de nye statsarkivene i Trondheim og i Bergen valgt å bruke betongmaterialet på grunn av sine termiske egenskaper.

2.4 Utnyttelse av termisk masse – betongløsninger

I dette avsnittet presenteres fem tekniske løsninger som er designet for å benytte betongens termisk masse i energieffektive bygninger. Hver løsning er beskrevet ut i fra prinsippet det bygger på og illustrert med eksisterende byggeprosjekt der det ble anvendt. Vi har forsøkt å vise eksempler av nyere dato. Vi mener at eksempler med balansert ventilasjon er mest relevante for fremtiden da energigjenvinningen i ventilasjonsaggregatet er en forutsetning for å oppfylle passivhuskriterier³⁴.

Løsningene kan klassifiseres ut i fra måten betongens termiske masse jobber på:

- direkte varmeutveksling med omgivelser: den termiske massen er i direkte kontakt med romtemperatur (eksponerte betongoverflater eller Trombe vegg)
- indirekte varmeutveksling med omgivelser: den termiske massen utnyttes ved hjelp av luft- eller vannsirkulasjon (betongkulvert til luftinntak, TermoDeck®, termoaktive dekker)

Det foregikk i årene 2005-2008 et forskningsprosjekt ved navn ”Annex 44, Integrated Building Concepts” i regi av det internasjonale energibyrået (IEA, International Energy Agency). Noen av betongløsningene som er presentert i det følgende, er også omtalt i rapportene fra Annex 44³⁵.

Flere av eksemplene listet under er nærmere beskrevet på den Europeiske Betong Plattformen^{36, 37}.

2.4.1 Passiv termisk masse: eksponerte betongoverflater

2.4.1.1 Prinsippbeskrivelse

Denne løsningen er svært enkel å bygge og består av eksponering av betongoverflater (vegg, gulv eller etasjeskiller). Overflatene kan overflatebehandles med maling men må ikke tildekkes av andre materialer (gipsplater, trepaneler eller nedsenket himlingsplater). Ved å eksponere betongoverflater dempes temperatursvingningene i rommet. Det er imidlertid en risiko for dårlige akustiske forhold. Dette må ivaretas i prosjektering, spesielt i store rom i næringsbygg og skolebygg. Møbler og annen innredning vil i boliger vanligvis være tilstrekkelig for å sikre akseptable akustiske forhold. Ytterligere informasjon om prinsippet og

anbefalinger for å utnytte betongens termisk masse er tilgjengelig i publikasjoner fra den Europeiske Betong Plattformen^{38, 39}.

Svært mange nye blokkleiligheter bygges i dag med etasjeskiller av betong og leveres med eksponerte, malte, betongoverflater i taket. Løsningen er mindre vanlig i småhusbebyggelse som tradisjonelt bygges med bygningsverk av tre. I næringsbygg og skolebygg finnes det flere eksempler av nyere byggeprosjekter der man ønsker å utnytte termisk masse ved å eksponere etasjeskiller av betong (enten plasstøpt eller hulldekkeelementer).

2.4.1.2 Eksempler

Prof. Brochs gate 2 i Trondheim (KLP Eiendom)

Byggeår: 2009

Bygningskategori: Kontor

Land: Norge

Web: <http://www.miljobygget.no/>

<http://naring.enova.no/sitepageview.aspx?sitePageID=1238>



Figur 11: Eksponert betongdekke med nedhengte akkustiske baffler Foto: Veidekke



Figur 12: Eksponert betongflater i glassgård Foto: Veidekke

National Trust Headquarters

Byggeår: 2005

Bygningskategori: Kontor

Land: Storbritannia

Web: <http://www.europeanconcrete.eu/case-studies>



Figur 13: Eksponert betongdekke i kontorareal Foto: The Concrete Centre / The British Cement Association

Passivhuset - kWh-Husete (Danmark)

Byggeår: 2008

Bygningskategori: Bolig

Land: Danmark

Web: <http://www.hundsbaek.dk/content/view/4/16/>

Figur 14: Huset sett utenfra Foto: Hundsbaek & Henriksen A/S



Figur 15: Eksponert betongdekke i tak Foto: Hundsbaek & Henriksen A/S

Passivhus Celsius (Systemhus)

Byggeår: (kom i huskatalog i 2009, uvisst om hustype er allerede blitt bygget)

Bygningskategori: Bolig

Land: Norge

Web: http://www.systemhus.no/templates/Building___3535.aspx

Figur 16. Eksponert betongvegg langs trappen (grå overflate på venstre side av bilde) Foto: Systemhus / Viseno

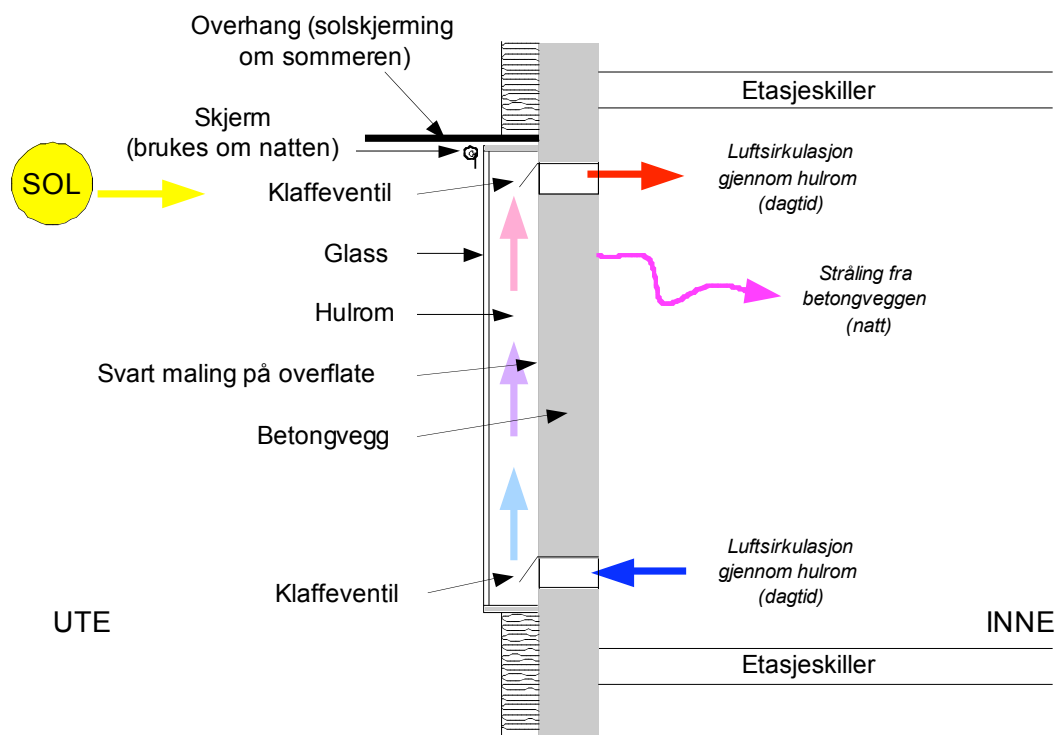
Huset er det første passivhuset i huskatalogen til Systemhus.

Utdrag fra Systemhus hjemmesiden: ”Huset kan leveres med en sentralt plassert betongvegg som kan fungere som en gedigen temperaturregulator. Forskning viser at en slik vegg vil kunne varmes opp av solstråler gjennom takvinduene. Varmen vil kunne magasineres i veggen og avgis langsomt og komfortabelt når romtemperaturen krever det. Motsatt vil veggen kunne tiltrekke seg varme dersom romtemperaturen er høy. Dette gir en behagelig romtemperatur og bidrar til økt komfort i huset. Dessuten utgjør betongveggen et lekkert designelement gjennom hele husets volum.”

2.4.2 Trombe vegg (Solakkumulerende vegg)

2.4.2.1 Prinsippbeskrivelse

Trombe veggen er et passivsolsystem. Det består av et veggelement med høy termisk masse (eksempelvis i betong), overflatebehandlet med en svart maling og bygget bak et glassfelt. Den svarte malingen og glassfeltet sørger for at mellomrommet mellom veggelementet og glasset blir et lite drivhus. Videre har veggelementet ventiler utstyrt med klaffer nede og oppe (Figur 17).



Figur 17: Prinsippskisse for en Trombe vegg Skisse: SINTEF Byggforsk

Om dagen fungerer veggelementet som et solakkumulator. Ventilene står åpne slik at romluften kan sirkulere i mellomrommet og bli oppvarmet. Om natten slipper veggelementet varmen som har vært akkumulert på dagtid. Ventilene stenges og glassfeltet bør helst utstyres med en skjerm som minimerer varmetapet mot utvendige omgivelser.

Trombe veggen er i utgangspunkt en uisolert konstruksjon og kan ha betydelige varmetap om natten. Veggens er velegnet for varme klimaer med store temperaturvariasjoner over døgnet men antas som lite hensiktsmessig for bruk i Norge.

Ytterligere informasjon om Trombe veggen er tilgjengelig på følgende Internett-adresse:
<http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/36277.pdf>

2.4.2.2 Eksempel

Boligblokk i Odeillo

Byggeår: 1968

Bygningskategori: Bolig

Land: Frankrike

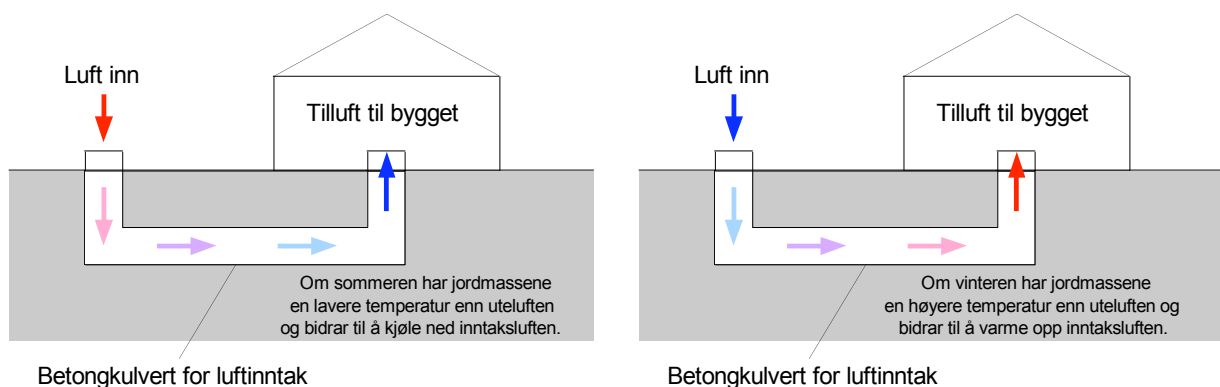


Figur 18: De svarte glassfeltene består av Trombe vegger Foto: ukjent

2.4.3 Betongkulvert for luftinntak

2.4.3.1 Prinsippbeskrivelse

En kulvert for luftinntak er en varmeveksler der man forsøker å forvarme / kjøle ned inntaksluften før den når ventilasjonsaggregatet og videre tilføres i bygget. (Figur 19). Dersom kulverten utføres i betong vil varmeutveksling mellom jordmassene og inntaksluften forbedres.



Figur 19: Prinsippskisse for en kulvert for luftinntak Skisse: Sintef Byggforsk

2.4.3.2 Eksempler

Høgskolen i Nord-Trøndelag på Røstad i Levanger

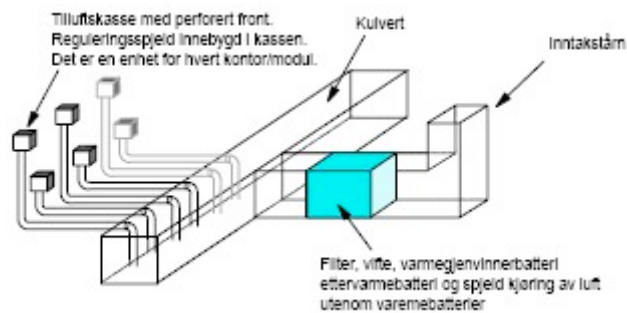
Byggeår: 2002

Bygningskategori: Universitets- og høskolebygg

Land: Norge

Web: http://www.statsbygg.no/aapentrom/arkiv/nr1_2005/pdf/aapentrom350193.pdf

http://www.statsbygg.no/FilSystem/files/prosjekter/fouprosj/energi/RoestadHovedrapp2_Rev4.pdf



Figur 20: Prinsipp for luftinntak og tilluft på HiNT. Skisse: Hans Martin Mathisen



Figur 21: Betongkulvert på HiNT. Bilde: Hans Martin Mathisen

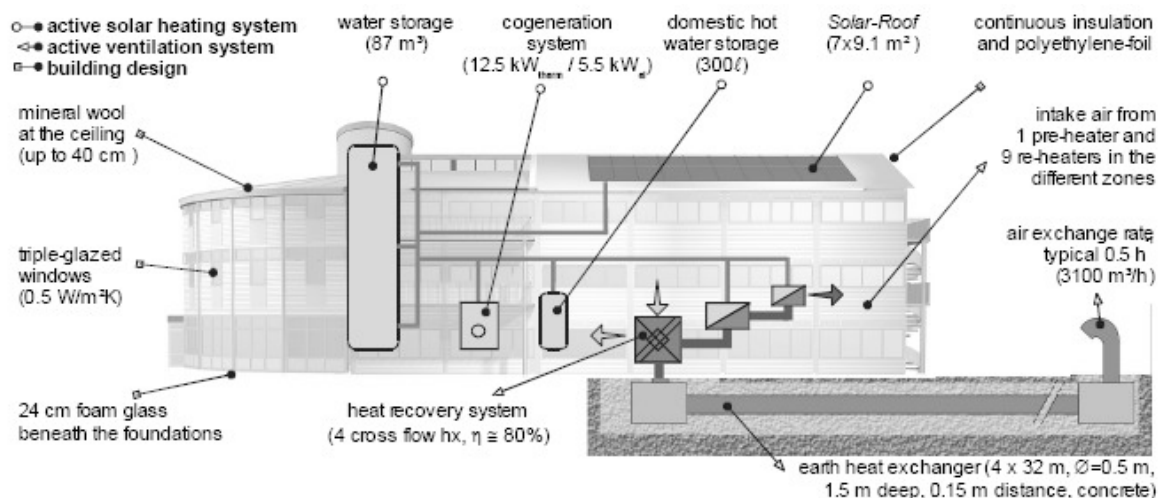
Wagner & Co kontorbygg i Marburg

Byggeår: 1998

Bygningskategori: Kontor

Land: Tyskland

Web: http://www.archiv.solarbau.de/monitor/doku/proj02/dokuproj/Spieler_Eurosun.pdf



Figur 22: Wagner & Co kontorbygg i Marburg, energikonseptet. Skisse: Astrid Spieler

SD Worx

Byggeår: 2002

Bygningskategori: Kontor

Land: Belgia

Web: http://www.cenergie.be/projecten/fiche_detail.cfm?project_id=162***Videregående skole Jacquard i Caudry***

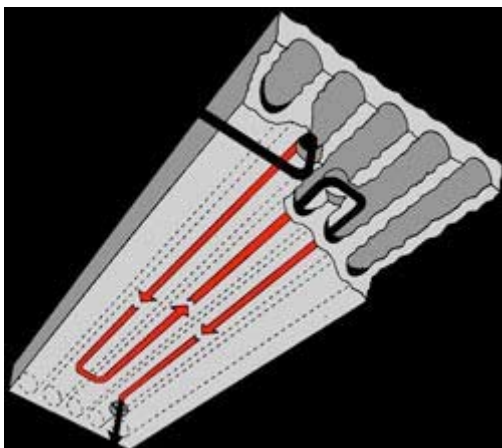
Byggeår: 1997

Bygningskategori: Skolebygg

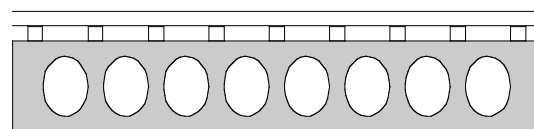
Land: Frankrike

Web: <http://www.cstb.fr/fileadmin/documents/webzines/2008-06/Tribu/FichesTribu.pdf>
http://www.tributribu.com/site_internet/Caudry/caudry2.htm**2.4.4 Termoaktivbygningssystem med luftsirkulasjon, Termodeck®****2.4.4.1 Prinsippbeskrivelse**

Termoaktivbygningssystem er en direkte oversettelse fra det engelske uttrykket Thermal Active Building Systems (TABS). TermoDeck® systemet er et patentert ventilasjonssystem. Istedenfor å blåse tilluften i rommet ved hjelp av en tilluftsventil, føres den først i hullene til hulldekkeelementet i etasjeskiller. Se Figur 23 og Figur 24. På denne måten brukes hulldekkeelementet i etasjeskiller som en varmeveksler. Hulldekkeelementet varmes opp eller kjøles ned (avhengig av årstiden og tilluftstemperatur) ved hjelp av tilluften og utnyttes som et energilager. Når ventilasjonsaggregatet slås av, vil hulldekkeelementet bidra til videre klimatisering av rommet. Om sommeren vil det kalde hulldekke fortsatt kjøle ned rommet. Om vinteren har hulldekke en høyere temperatur enn rommet og vil bidra til å dekke varmetapet i rommet.



Figur 23: Prinsippskisse som viser luftsirkulasjon i et hulldekkeelement brukt som TermoDeck®
Skisse: TermoDeck International Ltd



Figur 24: Snitt av hulldekkeelementet brukt som TermoDeck® Skisse: Sintef Byggforsk

TermoDeck® systemet hadde en viss utbredelse i Norge på 80-tallet. Det ble midlertidig avdekket inneklimateproblemer i noen bygninger som hadde dette systemet. Det ble etter hvert forlatt på grunn av manglende muligheter for rengjøring av hulldekkekanalene, i kombinasjon med relativ liten kapasitet til transport av luft (typisk 5 m³/h·m²).

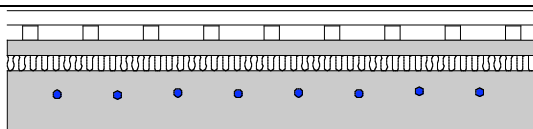
2.4.4.2 Eksempler

TermoDeck® har vært levert til over 300 bygninger verden over. En referanseliste er tilgjengelig på følgende hjemmeside: <http://www.termodeck.com/list.html>

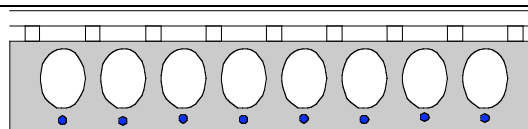
2.4.5 Temoaktivbygningssystem med vannsirkulasjon

2.4.5.1 Prinsippbeskrivelse

Et termoaktivbygningssystem med vannsirkulasjon er et vannbårent klimatiseringssystem. Systemet kan brukes til oppvarming om vinteren og kjøling om sommeren. Rør til vannsirkulasjon støpes i hel betongdekke eller i hulldekkeelementer (Figur 25 og Figur 26). Dekke varmes opp eller kjøles ned (avhengig av årstiden og vanntemperatur) ved hjelp av sirkulasjonsvannet. Videre foregår energiutveksling mellom dekke og rommets omgivelser ved både stråling og konveksjon. Hvis varmebehovet er lite kan systemet stå for hele romoppvarmingen. Om sommeren kan man utnytte vannsirkulasjon om natten slik at all overskuddsvarmen lagret i dekke på dagtid fjernes.



Figur 25: Snitt av et termoaktivbygningssystem med vannsirkulasjon, hel betongdekke med et tynt isolasjonslag over rørene for å minimere varmetap mot etasjer over Skisse: Sintef Byggforsk



Figur 26: Snitt av et termoaktivbygningssystem med vannsirkulasjon i et hulldekkeelement Skisse: Sintef Byggforsk

2.4.5.2 Eksempler

Hercuton Headquarters

Byggeår: 2007

Bygningskategori: Kontor

Land: Nederland

Web: <http://www.europeanconcrete.eu/case-studies>

City office building i Goes

Byggeår: 2007

Bygningskategori: Kontor

Land: Nederland

Web: <http://www.europeanconcrete.eu/case-studies>

Det Kongelige Teater, Skuespilhuset i København

Byggeår: 2008

Bygningskategori: Kulturbygg

Land: Danmark

Web:

<http://www.cowi.dk/menu/projects/forsyning/energiplanlaegningogsystemer/energibygninger/Pages/EnergikonceptForDetKongeligeTeater.aspx>

2.5 Fremtidens betongløsninger for energieffektive bygg

I dette avsnittet listes nyere løsninger. Noen av dem er enda i utviklingsfasen, andre er kommersielt tilgjengelig men har så langt kun vært brukt i et begrenset omfang.

2.5.1 Vakuumisolasjonspaneler i sandwichelementer

Et vakuumisolasjonspanel består av et porøs kjernemateriale (som oftest kompaktet silikastøv SiO_2) som er omsluttet av en damp- og lufttett folie som er forseglet mens det er tilnærmet vakuum i kjernematerialet. Varmekonduktiviteten til et vakuumisolasjonspanel er mellom fem og ti ganger lavere enn konvensjonell varmeisolasjonsmaterialer som mineralull, noe som betyr at en trenger mindre isolasjonstykkelser for å oppnå samme isolasjonsnivå. En av utfordringene ved å bruke vakuumisolasjonspaneler er å ikke punktere folien som omringer kjernematerialet. Dersom folien punkteres øker varmekonduktiviteten tilbake til samme nivå som et vanlig varmeisolasjonsmateriale, og panelet mister sin viktigste termiske egenskap. Ved å bygge vakuumisolasjonspaneler i prefabrikkerte sandwichelementer kan man beskytte folien og redusere risikoen for punktering betydelig.

SINTEF Byggforsk har utarbeidet en rapport om vakuumisolasjonspaneler for bruk i bygninger⁴⁰, som omfatter blant annet en liste med prosjekter der vakuumisolasjonspaneler er blitt brukt og en liste av produsenter av vakuumisolasjonspaneler.

2.5.2 Isolasjon med aerogel

En aerogel er en gel (geléaktig materialet) der væsken er blitt erstattet med en gass, ofte luft. Luften er innkapslet i bittesmå porer (med nanometer-størrelse) som hindrer varmekonduktiviteten gjennom aerogelen. Isolasjon med aerogel går også under navnet ”nanoisolasjon” eller ”nanogelisolasjon”.

Det finnes få kommersielle isolasjonsprodukter som består av aerogel i dag. Et av dem er Cabot Corporation's Nanogel®, et aerogel av silisiumoksid produsert i Frankfurt i Tyskland⁴¹. Varmekonduktiviteten til dette produktet er cirka to ganger lavere enn konvensjonell varmeisolasjonsmaterialer som mineralull.

Andre typer aerogeler er under utvikling, blant annet ønsker man å se om det er mulig å produsere en aerogel-sement.

Miljøbelastning ved bruk og avhending av nanopartikler er lite kjent. Norconsult har utarbeidet for Byggemiljø et notat som handler om mulige miljø- og helsepåvirkninger knyttet til bruk av nanopartikler i bygningsmaterialer⁴². Videre har Teknologirådet en egen nettside med informasjon om nanopartikler og anvendelsesmuligheter i dagens samfunn⁴³.

2.5.3 Polybetong

Lothe Bygg AS har utviklet en ny type betongelementer bestående av såkalt ”Polybetong”, en kombinasjon av resirkulert polystyren (80 % i volum) og betong (20 % i volum)⁴⁴. Materialet har en lavere vekt (ca. en femte del) og en lavere varmekonduktivitet (ca. en tiende del) enn vanlig betong. Små demonstrasjonsbygg er under testing.

Varmekonduktiviteten til "Polybetong" er ikke høy nok til å kunne erstatte bruk av konvensjonell isolasjonsmaterialer i fremtidens bygninger, men vil kunne bidra til mindre isolasjonstykkelser hvis materialet benyttes i kombinasjon med vanlig isolasjon.

2.5.4 Faseforandringer /Phase Change Materials (PCM)

Faseforandringsmaterialer består av et organisk eller uorganisk stoff som kan endres fra fast-, til væskefase ved et smeltepunkt mellom 20 og 36 °C. Faseforandringsmaterialer går fra fastfasen til væskefasen ved å absorbere varme, og motsatt fra væskefasen til fastfasen ved å gi fra seg varme. Dette uten å endre egentemperatur i et lite temperaturintervall rundt smeltepunktet. De fungerer som en korttidsvarmeakkumulator. Det er i utgangspunkt tenkt å anvende slike materialer i lette eller meget lette bygninger (se Tabell 1). Men det er også aktuelt å bruke dem i kombinasjon med betong for å forsterke ytterligere betongens termisk masse. BASF leverer et faseforandringsmaterial for bruk i bygninger som heter Micronal PCM®. Produktet er tatt i bruk i flere kontorbygninger i Tyskland⁴⁵.

3 Istandsetting av forurensede havneområder

3.1 Innledning

Lang tids utslipp fra industri, bosetning og annen virksomhet har ført til at en rekke havner og fjordområder i Norge nå er sterkt forurenset. Kadmium, kvikksølv, bly, TBT, PCB, PAH og dioksiner er eksempler på miljøgifter som kan finnes i sedimenter langs norskekysten. Bunnen i enkelte fjorder og havner er så forurenset at det kan være helseskadelig å spise fisk og skalldyr fra disse områdene. På bakgrunn av en større kartlegging av forurensningssituasjonen i sjøbunnen langs norskekysten har Miljøvernmyndighetene prioritert 17 områder for ytterligere undersøkelser og tiltak. Noen få havneområder er allerede rehabilitert og renset. Med det sterkt økende fokus på dette miljøproblemet fra myndighetenes og befolkningens side er det all grunn til å tro at flere havner og fjordområder vil bli satt i stand i tiden framover.

I tre av havneområdene som er renset og rehabilitert er det brukt sement for å stabilisere de forurensede bunnsedimentene. Sement har en god evne til å stabilisere miljøgifter, slik som tungmetaller. Samtidig kan sement gi mekanisk styrke til sedimentene, slik at de stabiliserte bunnmassene faktisk kan brukes som ny byggegrunn i attraktive havneområder. Eksempelene fra Norge diskuteres i kap 3.4.1-3.4.3^{46, 47, 48, 49}. Erfaringene er så gode at metoden har gode forutsetninger for å kunne bli brukt i kommende rense- og rehabiliteringsprosjekter.

Forurensing fører videre til dårlig vannkvalitet, lite fisk og sjødyr og "sjøbunnsørken". For å forbedre vannkvaliteten og på nytt etablere et naturlig marinbiologisk mangfold, kan det utplasseres kunstige fiskerev på bunnen. Det er store fordeler med å bygge slike fiskerev i betong^{50, 51, 52, 53}. I Norge er dette brukt i forbindelse med Tjuvholmen byutvikling, som presenteres i kap. 3.4.4. Erfaringene fra Tjuvholmen er såpass gode at flere prosjekter med anlegging av kunstige fiskerev er under oppseiling.

3.2 Stabilisering og solidifisering av forurensede havnesedimenter

Å rydde opp i tidligere tiders synder er som vi vet ofte ressurskrevende. Dette gjelder ikke minst opprydding og rensing av forurensede havne- og fjordområder. Først må forurensingskildene stanses. Deretter må opprydnings- og rensemetodene bestemmes. Det benyttes i hovedsak tre metoder, se Tabell 2:

Tabell 2: Opprydnings- og rensemetoder for forurensede bunnsedimenter

1	De forurensede sedimentene fjernes fra sjøbunnen ved mudring og plasseres i et godkjent deponi.
2	De forurensede sedimentene tildekkes med rene masser slik at det dannes en ny og ren sjøbunn over dem
3	De forurensede sedimentene renses eller stabiliseres og kan brukes på nytt

Å gi noen generell anbefaling om hvilken metode som bør anvendes er ikke mulig. Hvilken metode som skal brukes må bestemmes ut i fra en totalvurdering av hvilken teknikk som er mest hensiktsmessig, økonomisk, og miljømessig sikker for hvert enkelt prosjekt. Men det er klart at metoden med å stabilisere bunnsedimenter med sement, og så anvende disse massene på nytt er en smart løsning som kan være svært gunstig for mange prosjekter. De stabiliserte

bunnsedimentene kan brukes til å danne nytt landareal. Og landareal i tilknytning til sjøen i byer og tettbygde strøk er svært attraktivt, alle synes jo å ønske seg leilighet på sjøsiden i dag.

3.3 Forbedring av vannkvalitet, økt fiskebestand og økt mangfold i sjøen

Kunnskapen om bruk av kunstige fiskerev for å øke fiskebestandene skriver seg flere hundre år tilbake i tid. Fiskere oppdaget at de fikk uvanlig store fangster nær sunkne skip. Det ble etter hvert vanlig å senke utrangerte båter, kvaser med kvist eller trerammer for øke fangstene. Å bygge optimaliserte revkomplekser i varige materialer skriver seg fra nyere tid. Betong skiller seg her ut som et spesielt godt egnet materiale. Årsaken er at betong gir stabile og vedlikeholdsfrie strukturer med lang holdbarhet. I tillegg er jo betong nærmest å betrakte som et naturmateriale, bestående av naturlige bergarter og sement. Sementen er i sin tur framstilt av bergarten kalkstein. Betong består derfor av ufarlige forbindelser, noe som er viktig for å hindre forurensing av næringskjedene i sjøen. Det kan være flere grunner til å anlegge kunstige fiskerev. Eksempler er gitt i Tabell 3.

Tabell 3: Eksempler på årsaker til å anlegge kunstige fiskerev

1	Samle fisk for mer forutsigbart og kostnadseffektivt fiske
2	Forbedre grunnlaget for kystfiske
3	Øke mengden lokale oppvektsstrukturer, og derved øke det biologiske mangfold
4	Bringe nytt liv til 'sjøbunnsørken'
5	Vannrensing; feks rensing av vann for næringsstoffer i forbindelse med oppdrettsanlegg
6	Etablering av fiskeplasser for sports- og turistfiske
7	Foredle spesielt verdifulle fiskearter
8	Oppvekstplass for yngelutsett
9	Beskyttelse mot ulovlig tråling

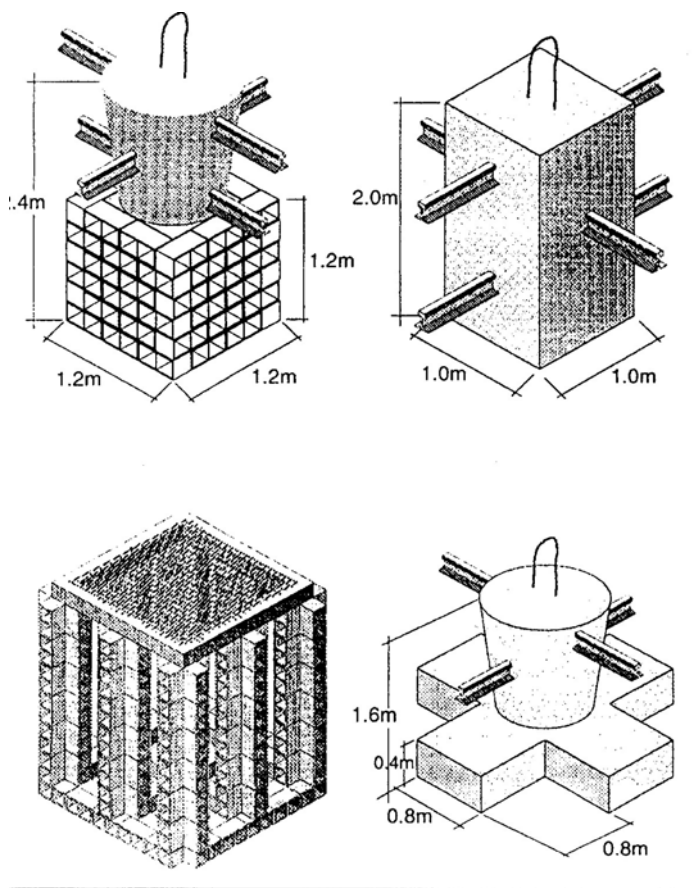
Kunstige fiskerev kan videre deles i tre hovedgrupper, Tabell 4.

Tabell 4: Inndeling av kunstige fiskerev

1 Beskyttelsesrev	Rev som skal sikre oppvekst av småfisk, og sikre ulovlig tråling.
2 Produksjonsrev	Rev som skaper nye leveområder for fisk og skalldyr
3 Flerbehovsrev	Som omfatter ovenstående behov, men som også inkluderer andre formål som vannrensing, utsetting av yngel ect.

Kunstige fiskerev kan ved sin utforming tiltrekke seg ulike fiskearter. På den måten kan vi en styre bestanden av ulike arter fisk omkring et rev. Kunstige fiskerev kan også utformes slik at ikke bare fiskebestandene øker, men også slik at det øvrig biologiske mangfoldet øker. For eksempel kan rev utformes slik at de tiltrekker seg skalldyr. Revene kan videre utformes slik at de gir et godt grunnlag for begroing av sjøplanter og andre vannrensende organismer. Det er registrert økt bruk av lettbetong i senere år, spesielt i revs øvre deler. Dette bidrar til økt begroing

Japan og Spania er land som har satset en god del på kunstige fiskerev, for å bedre grunnlaget for kystfisket. For eksempel ble det i Japan i 1991 bevilget over 1,3 milliarder kroner til dette.



Figur 27: Eksempel på spanske reveheter

3.4 Eksempler

3.4.1 Trondheim havn

Trondheim havn er en trafikkhavn hvor det ble påvist sterkt forurensede sedimenter i store deler av havneområdet (PCB, PAH, TBT og tungmetaller). Det forurensede havneområdet ble rensert og istandsatt i perioden 2001-2005. Dette var det første storskala prosjekt i Norge hvor forurensede muddermasser er blitt stabilisert i strandkant deponi. Gjennom å stabilisere massene med kalk og sement (KC behandling) kunne de forurensede bunnmassene gjenoppstå som verdifull ny byggegrunn for den videre utvikling av havnen. Figur 28 viser KC behandling i Trondheim havn.



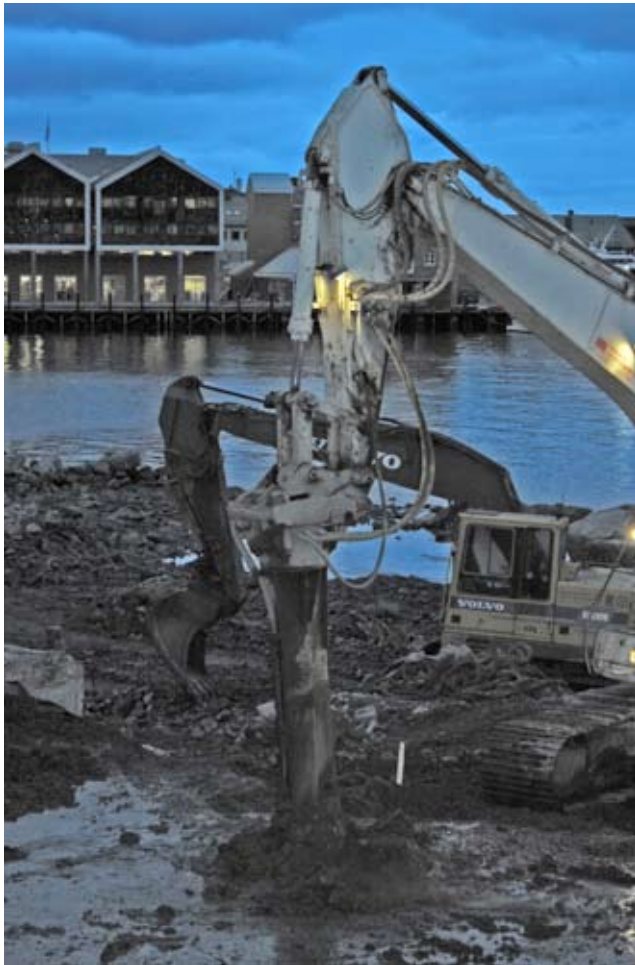
Figur 28: KC behandling i Trondheim havn. Forurensede masser er mudret og fraktet til deponi i strandkanten. Stabiliseringsriggen oppholder seg på stabilisert grunn og arbeider seg videre utover

KC behandlingen foregår ved at kalk og sement blandes inn i det forurensede massene ved hjelp av en stor visp montert på stabiliseringsriggen. Innblandingene foregår ned til et dyp på opptil 25 meter. Denne teknikken er primært utviklet for å forsterke svak byggegrunn, for eksempel kvikkleire. Men teknikken kan også brukes for å stabilisere forurensede muddermasser som i Trondheim havn. Ved å blande forurensede havnesedimenter med kalk og sement blir forurensingene både kjemisk og fysisk bundet i de nye massene, som samtidig blir ny og bestandig byggegrunn.

I prosjektet i Trondheim ble 40 000 m³ muddermasser stabilisert. Representanter for Trondheim havn mente at metoden var en kostnadseffektiv metode. Alternativet, et landdeponi, ville blitt dyrere. Samtidig ville alternative løsninger ikke gitt havneselskapet de nye landområdene for sin videre utvikling.

3.4.2 Hammerfest havn

Også havnen i Hammerfest er renset og rehabilitert med sementstabilisering i løpet av de siste årene. Havnebassenget i Hammerfest var meget sterkt forurensset. Om lag 6000 m³ forurensset masse ble stabilisert med sement etter samme prinsipp som i Trondheim. På den nye byggegrunnen som ble etablert av de stabiliserte massene har Hammerfest nå bygget sitt nye kultursenter.



Figur 29: Sementstabilisering av havneområdet i Hammerfest



Figur 30: Hammerfest kulturhus som er bygd på sementstabiliserte bunnsedimenter

3.4.3 Sandvika elvepromenade

I 2007 bestemte av politikerne i Bærum kommune at det skulle bygges en elvepromenade med gjestebrygge på Kadettangen. For å få dette til ble det klart at det måtte mudres 3-5000 m³ muddermasse i Sandvikselva. Muddermassene var forurenset, og det framsto to alternativer når det gjaldt å håndtere massene. Et alternativ var transport av massene til Langøya for behandling og deponering. Både kostnader for transport og behandling, samt deponeringsavgift, tilsa at dette ville bli en dyr løsning.

Alternativet som ble valgt, var stabilisering med sement i stranddeponi på stedet. Dette stranddeponiet ble så brukt som grunn for strandpromenaden og gjestebrygga. Det ble bygget en spuntvegg av betong i strandkanten. De forurensede sedimentene ble så mudret opp og plassert på landsiden av veggen. Messene ble så stabilisert og solidifisert ved å blande de med bindemiddel (100-200 kg/m³), på samme måte som ble gjort i Trondheim og Hammerfest. Etter noen få dagers herding har massene oppnådd tilstrekkelig fasthet til at det kan danne grunnen for nytt kaiområde eller annet byggbart areal. I 2009 var prosjektet ferdig, og Figur 31 viser et bilde av den nye elvepromenaden i Sandvika. .



Figur 31: Sandvika elvepromenade og gjestehavn. Bygd på sementstabiliserte sedimenter fra Sandvikselva. Modell av prosjekt

3.4.4 Tjuvholmen nye bydel

Tjuvholmen er et gammelt kaianlegg utenfor Aker Brygge og Filipstad i Oslo som nå bygges ut som en ny bydel ved og i sjøen. Tjuvholmen KS, som er eiet av Selvaag Gruppen og Aspin-Ramm Gruppen, er utbygger av Tjuvholmen.



Figur 32: Modell av Tjuvholmen nye bydel (Kilde: Skanska)

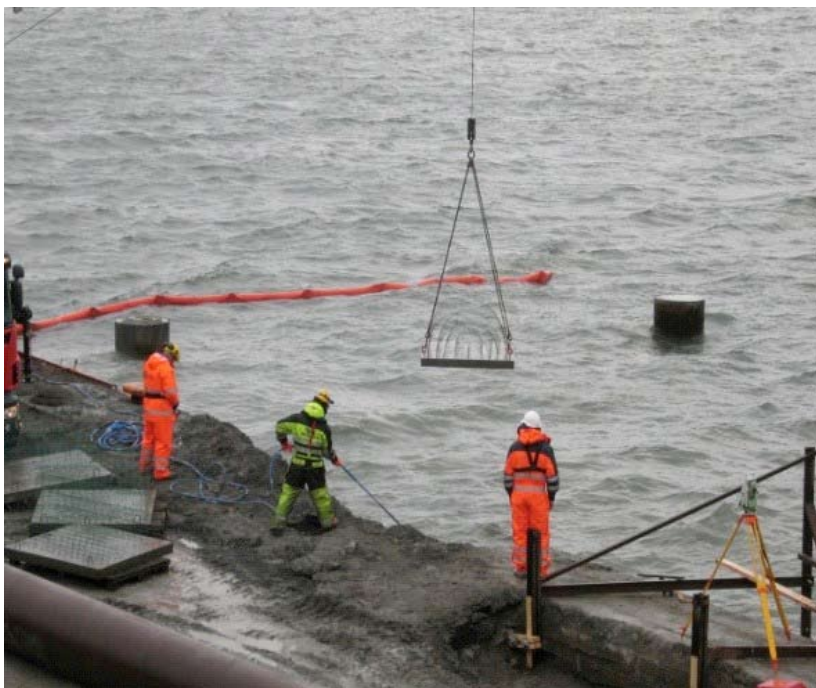
Miljøforbedringstiltak i sjøen inngår som et eget element i prosjektet. Målsettingen har vært å skape et størst mulig marinbiologisk mangfold på sjøbunnen og i vannet under dekkekonstruksjonene og langs dekkforkanten på Tjuvholmen, samt å forbedre siktforholdene i vannet gjennom naturlig forbruk av næringsemner. Prosjekteringen ble gjennomført av PJConsult AS og NIVA. For å oppnå de ønskede forbedringer er det satt ut en rekke kunstige fiskerev av betong samt blåskjelltau. NIVA skal også overvåke vannkvalitet og biologisk liv som følge av tiltakene.

Blåskjell-tau

I avstand 2x2 meter under alle dekkekonstruksjoner, med unntak av en buffersone på 5 meter nærmest parkeringskonstruksjonene og innerst i vikene mellom disse, monteres blåskjell-tau. Buffersonen skal bidra til å redusere muligheten for vekstpåvirkning i oksygenfattig vann med liten gjennomstrømning. Det ble støpt inn hylser i dekkene under byggeperioden, for montering av blåskjell-tauene etter at dekkekonstruksjonene var ferdige. Det er til sammen hengt ut nærmere 1500 blåskjelltau.

Renserev-moduler (Reef Cleaning Modules)

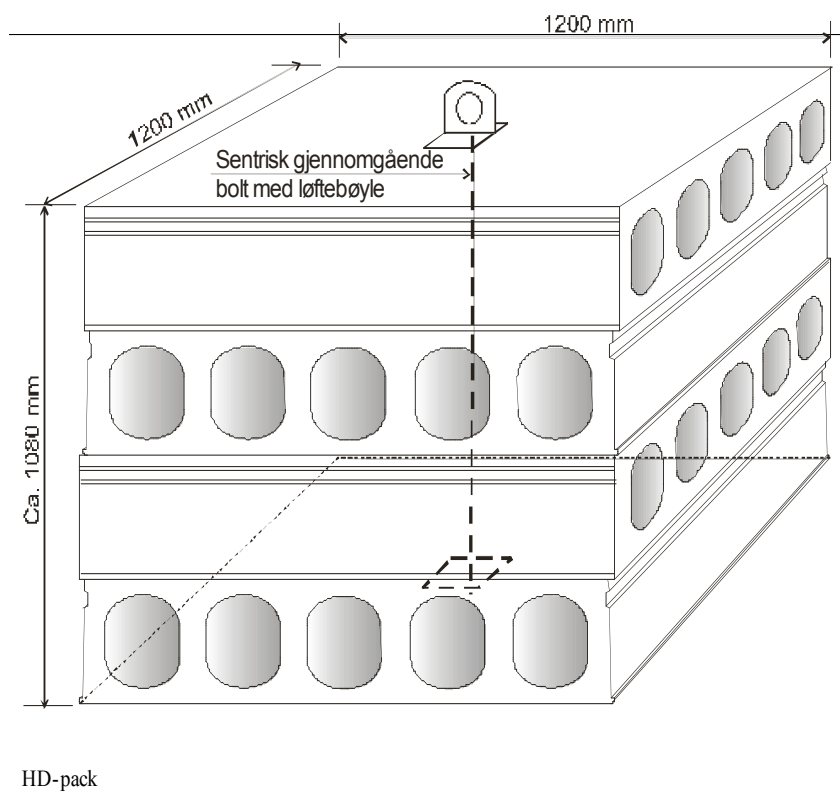
I områdene under blåskjell-tauene er det satt ut renserev-moduler. Disse har en tre-dobbelt funksjon. Ved å skape et størst mulig "areal" nær bunnen, gis bedret grunnlag for liv for organismer som utnytter overskuddsnæring i vannet og modulene vil dermed virke vannrensende. Enhetene vil være komplementære til blåskjell-tau, og også delvis utfylle disse i virkemåte. Samtidig vil organismer i renserevene forbruke organisk materiale når blåskjell faller av tauene. Skjellmaterialet i seg selv bidrar til fordelaktige bunnsubstrater, men det bør hindres at et mulig overskudd av organisk avfall fra tauene kan skape råttne bunn med dannelse av hydrogensulfid. Modulene bidrar også til å gi et mer mangfoldig bunnsubstrat. Disse rev-modulene ble utsatt samtidig med pelingen for dekkekonstruksjonene. Til sammen er det satt ut 342 slike moduler. Figur 33 viser utsetting av renserev.



Figur 33: Utsetting av renserev-modul i februar 2008

HD-pack

Dette er en rev-modul (Figur 34) som skal tiltrekke seg typiske bunndyr og bunnfisk. Denne type dyr tiltrekkes av gjennomstrømbare kanaler av samme størrelsesorden som de selv.



Figur 34: Rev-modul av betong av typen HD-pack.

JAFI 2000

Dette revelementet av betong stikker ca 2 meter opp fra bunnen, og er designet for å tiltrekke seg fisk som lever over sjøbunnen.



Figur 35: Rev-element av betong for fisk som lever over sjøbunnen, JAFI 2000

LM 42

Enkelte fisker og bunndyr krever 'trygge' ikke-gjennomsvømbare huler for at de skal etablere seg. Revet LM 42 har 'lukkede' med varierende dimensjoner og er designet for denne type dyr, egentlig er revet designet for hummer. NIVA registrerte for øvrig en hummer i området under en dykkerstudie senhøstes 2008.



Figur 36: Rev-element av betong for hummer og fisker som liker trygge gjemmesteder, LM 42

De tre siste revelementene er satt sammen i grupper bestående av 4 stk HD-pack, 4 stk JAFI 2000 og 2 stk LM 42. Hver gruppe med rev har en utstrekning på ca. 10x 8 meter. Ti slike grupper av rev er plassert i forkant av konstruksjonene rundt Tjuvholmen. Foreløpige dykkerundersøkelser fra NIVA er meget positive med hensyn til at utsiktene til at løsningene virker etter sine intensjoner. Det er observert store mengder fisk og et mangfoldig liv.

4 Klimaendringer og økt nedbør

4.1 Permeabel betong

Allerede på 1970-tallet ble såkalt "no-fine - betong" benyttet en rekke steder. I England ble det benyttet til å støpe vegger i 2-3 etasjes bolighus i en støpeoperasjon, uten at man fikk problemer med forskalingstrykket. Veggene var ofte 20-30 cm tykke, med innhengte trebjelkelag som etasjeskiller. Veggene ble pusset og/eller forblendet på yttersiden. Behovet for trykkfasthet var lite, og denne permeable betongen hadde lave fastheter. Teknikken ble i England også benyttet til dekket på tennisbaner for å redusere overflatevann. Prinsippet har i mange år vært benyttet i blokker av lettaggregatbetong.



Figur 37: Gjennomstrømingstest Kinki University, Japan

Vi antar imidlertid at det er i Japan man har drevet mest avansert forskning og utvikling på området de senere år. Ved besøk på Japans nest største Universitet, Kinki University, i Kobe, i november 2000, var det en rekke studenter og 6 doktorkandidater som arbeidet med temaet under ledelse av Professor Tamai. Den "moderne" permeable betongen har relativt mye høyere fastheter, og vesentlig bedre egenskaper på en rekke områder, i forhold til det som tidligere har vært benyttet. Mens man tidligere har operert med fastheter i størrelsesorden 2-15 MPa for en permeabel betong, har den nye "japanske" versjonen typiske fastheter i størrelsesorden 20-50 MPa.

Prinsippene bak den "nye" permeable betongen er egentlig ganske enkel:

Dersom vi fyller et rom med partikler av omtrent samme størrelsesorden, vil vi få en hulromsprosent på litt over 30 %. Belegger vi disse partiklene/ dette tilslaget med, og binder partiklene sammen med, et mørtellag, kan vi for eksempel få en betong med et hulromsprosent på 18- 30, som lett slipper vann gjennom. Hvis mørtelsjiktet er tykt nok og har stor nok styrke kan vi oppnå betydelige fastheter. Teknikken krever en del med hensyn til blandeteknikk, klebrighet, proporsjonering av pasta etc. Bruk av silikastøv, og betydelige mengder høyplastifiserende tilsetningsstoff i pastaen er nesten en selvfølge. Som bildet over viser, kan det noen ganger også være fornuftig å lage betongen i flere sjikt, hvor det øvre visuelt synlige, og mest kostbare sjiktet, gis spesielle egenskaper som for eksempel – pigmentering, - økt slitestyrke og fasthet etc.

Et interessant poeng med denne betongtypen er at mange "vedtatte sannheter" om betongegenskaper, ikke gjelder for denne type betong. Eksempelvis må man tenke annerledes med hensyn til avhengighet mellom; V/C – tall, fasthet, porøsitet, frostmotstandsevne etc. Det

er trolig at et solid norsk grunnlag innen forskning og utvikling vil være nyttig for økt utnyttelse av denne betongformen i Norge.

Som man vil se, av etterfølgende eksempler, er permeabel betong benyttet både i plasstøpt betong, betongelementer og betongvarer.

4.1.1 Permeabel, drenerende betong til veier og plasser:

Typiske verdier for permeabel betong til veier og plasser er;

- v/c- forhold: ca 0,30
- hulromsprosent: 25-29 %
- cementmengde: 270-340 kg/m³
- trykkfasthet (7, 28 og 56 dager): 13-15, 17-20 og 20-23 Mpa

Hensikten med bruk av permeabel betong til veier og plasser er innlysende. Bortføring av vann kan gjøres mer rasjonell for trafikkkanter. Overflaten trenger ikke fall til sluk og kummer. Bortføringssystemet ligger under betongen, mens overflaten er omtrent vannfri, selv ved store regnmengder.



Figur 38: Bildet er tatt på en kjørbær plass i den gamle keiserhovedstaden Nara, i Japan i november 2000.

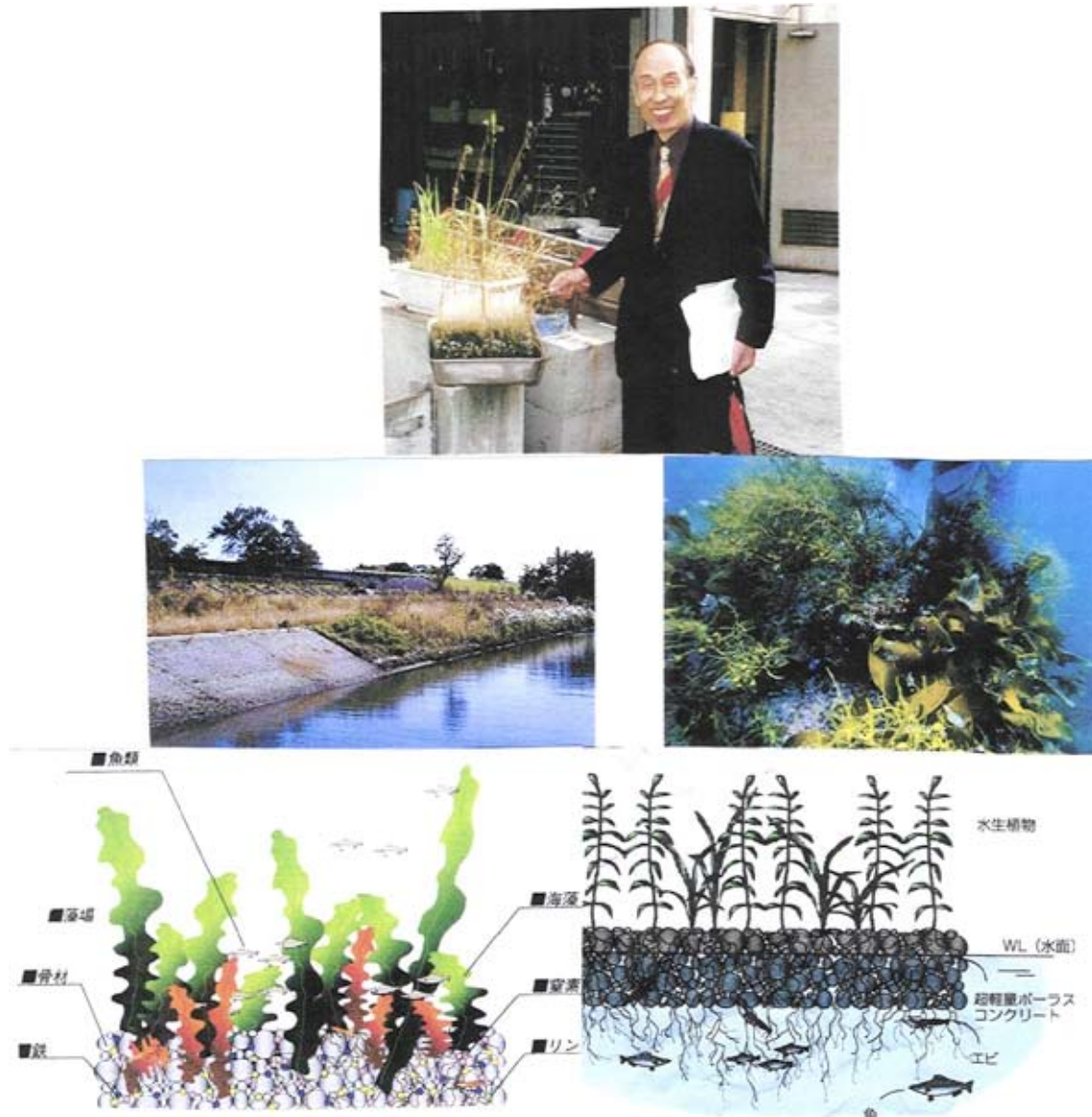
Bildet over er tatt en solrik ettermiddag i november. Bare timer før var det meget kraftig regnvær, uten at dette skapte generende overflatevann. Sykkelstiene i nærheten var også støpt ut med permeabel betong. Det øvre sjiktet var pigmentert med røde jordfarger for tydelig å skille syklende fra fotgjengere.

Fugeavstanden i permeabel betong kan ofte gjøres større enn for normal betong.

Det er også i Norge varslet perioder med økte nedbørsmengder på grunn av klimaendringer. Bruk av permeabel betong på gangveier, plasser, innkjøringer, kan bidra til å løse framtidens utfordringer på en mer elegant og rasjonell måte.

4.1.2 Permeabel betong for erosjonssikring / og som vekstmedium.

Endret klima vil også i Norge bety perioder med større nedbørsmengder, flere ras og større krav til bortledning av vann. Permeabel betong kan være et interessant alternativ. Samtidig som man stabiliserer skråninger med et bestandig og materiale, kan man få grønne arealer



Figur 39: prof. Tamai, Kinki University, viser alternativ bruk av permeabel betong

I Japan har man eksperimentert lenge med permeabel betong som vekstmedium; Bruksområdene er flere;

- Erosjonssikring
- "Grønne" innkjørsler
- Flytende ferskvannsrev (fad = fish aggregating device)
- Revitalisering av sjøbunn

I Japan lanserte man på 90-tallet industriproduserte standardprodukter av permeabel betong til erosjons - sikring.

Det finnes mange produktløsninger. Ofte benyttes løsninger hvor betongelement- rammer med normal betong har ifyllingsblokker med permeabel betong. Den permeable betongen på bildet under er lett - tilslag- betong, basert på flygeasketilslag.

I andre eksempler er de armerte støtterammene vesentlig grovere, og rommene mellomfylt med plasstøpt permeabel betong.

I Sakkata i Yamagata Prefecture har vi observert elveskråninger med blomstrende markjordbær i permeabel betong.



Figur 40: Elveskråning med delvis prefabrikerte elementer og plasstøpt betong

Bildene under er høstbilder hentet fra Norge. I en have i Asker er det som et forsøksprosjekt benyttet permeable minitrønder blokker i en vel 20 meter lang støttemur. Støttemuren for terrassenivået nedenfor er med ”mini-trønder” i normal betong. Blokkene er støp på bestilling hos Ølen Betong, og produsert i samme maskin som ”normalblokkene”.



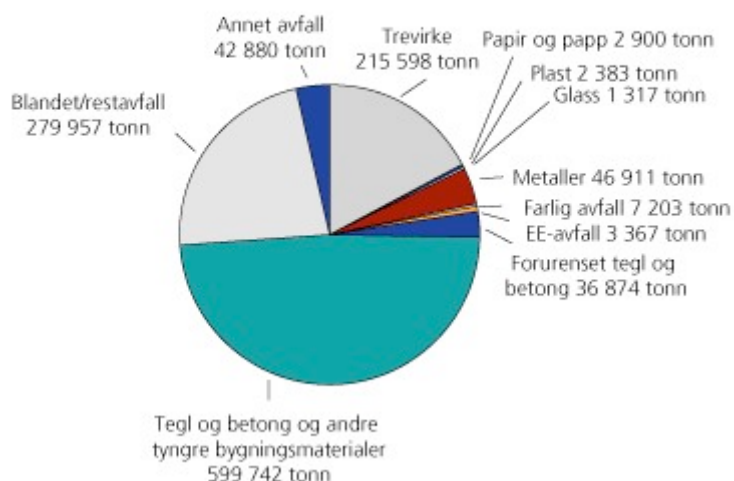
Figur 41: Permeabel betong i have i Asker

4.2 Gabioner med knust tilslag

4.2.1 Resirkulert tilslag

Knust tilslag av betong er blitt benyttet som erstatning for jomfruelige steinmaterialer i land som Danmark og Nederland i flere årtier. I Norge, der tilgangen til naturressurser er stor, er rivemasser av bl.a. betong stort sett blitt deponert, enten innenfor eller utenfor godkjente mottak. Tall fra Statistisk sentralbyrå⁵⁴ viser at mengden byggeavfall fra nybygg, rehabilitering og riving har økt fra ca 1 mill tonn i 1995 til over 1,6 mill tonn i 2007. I 2004 ble det generert totalt 1 239 131 tonn avfall fra nybygg, rehabilitering og riving (se Figur 42), av dette var 599 742 tonn tegl, betong og andre tyngre byggematerialer. Av dette ble kun litt over 10 % materialgjenvunnet, mens i underkant av 70 % ble disponert/behandlet utenom avfallsanlegg.

Genererte mengder avfall fra nybygging, rehabilitering og riving. 2004. Tonn



Figur 42: Avfallsmengder fra nybygg, rehabilitering og riving, 2004. Kilde: SSB

I Norge er det gjennomført to store FoU-prosjekter der gjenbruk har vært hovedtema. Det første var det 3-årige ØkoBygg prosjektet RESIBA (Resirkulert tilslag til bygg og anlegg), og det andre var Statens vegvesens prosjekt Gjenbruksprosjektet (2002-2005). I tillegg er det gjennomført forsøk med gjenbruk av betong i flere andre prosjekter. Både RESIBA⁵⁵ og Gjenbruksprosjektet⁵⁶ gjorde forsøk med bruk av knust betong i både bunden og ubunden form, med gode resultater, men Gjenbruksprosjektet konkluderte med at gjenbruk av betong var mest aktuelt i ubunden form pga det store behovet for oppfølging ved bruk i ny betong. Områdene for ubunden bruk av knust betong var i veger og plasser, samt i VA-grøfter.

4.2.2 Gabioner

Gabioner er steinfylte trådkurver, på norsk derfor også kalt steinkurver. I Norge brukes gabioner hovedsakelig til bygging av tørrmurer i forbindelse med vegbygging, men har også en rekke andre bruksområder. Eksempler på dette er:

- Militært bruk, til beskyttelse av mannskap
- Dambygging
- Erosjonssikring
- Flomsikring

– I hager

Fordelen med gabioner, i motsetning til en vanlig steinfylling, er at de kommer i moduler og er lette å stable i ønsket form. I tillegg har de den fordelen, i motsetning til mer stive konstruksjoner som for eksempel en betongmur, at de kan tilpasse seg bevegelser i grunnen, ta opp energi fra strømmende vann og, ikke minst, være drenerende. Gabioner fylles oftest med stein, typisk steinstørrelse er 10-15 cm, og på avsidesliggende steder kan det være greit å kunne benytte stedlige masser. Gabioner er både enkle i bruk og billige, og i de senere årene har gabioner blitt stuerent også hos arkitekter.

Som et alternativ til deponering av tynge byggematerialer, som for eksempel betong, kan disse materialene enkelt knuses og brukes til fyllmasse for gabioner. Dette er meget enkel gjenbruk av betong, og gir nytteverdi både fordi vi unngår både deponering og bruk av jomfruelig materialer, samtidig som knust betong sørger for å binde CO₂ fra luften. Eksempler på bruk av knust betong til fyllmasse i gabioner finnes trolig ikke i Norge per i dag, men på verdensbasis tilbys dette hos flere gabionprodusenter. Siden knust betong oftest er et rimeligere materiale enn naturlige masser, bidrar dette til å gjøre gabionene enda rimeligere.

4.2.3 Eksempler

I bakgården på et boligbygg i Brixton ble gabioner benyttet til en enetasjes høy støttemur mot et uteområde, gabionene var fylt med knust betong. Siden gabionene var brukt ved et uteområde der mye folk ferdes, var de dekt med et nett på toppen som skulle forhindre at søppel samlet seg inne i gabionene⁵⁷. Se Figur 43.

I Kina ble gabioner fylt med knust betong benyttet som støttemur langs en anleggsadkomst på en eksisterende togstasjon i forbindelse med riving av gammel stasjon og bygging av ny, se Figur 43.



Figur 43: Støttemur i bakgård⁵⁷ og støttemur langs atkomstvei for anleggsmaskiner

4.3 Høyfast betong til veidekke

4.3.1 Bakgrunn

Betong er et vanlig brukt materiale som veidekke i mange industrialiserte land. Økende aksellast, bruk av supersingeldekk, økende trafikk tetthet, økt slitasje og – ikke minst – dyrere asfalt som følge av økning i oljeprisene har gjort betongdekker stadig mer interessant. I motsetning til asfaltdekker deformeres ikke betongdekkene ved høye temperaturer eller belastninger. Dette gir en rekke fordeler som lenger levetid grunnet mindre spordeformasjon, mindre fare for vannplaning, kortere bremselengder i vått vær, lavere drivstofforbruk (15 % - 20 % drivstoffreduksjon registrert i forsøk i USA og India, se <http://www.cmaindia.org/faq4.html> og http://www.concreteroads.org/why_concrete_pavements.htm), samt vesentlig lenger levetid. Andre argumenter som brukes for valg av betongdekker er værbestandighet, bestandighet mot søl av olje og andre kjemikalier, samt lysere farge som gir økt sikkerhet og mindre behov for belysning.

I Norge og de andre nordiske landene har bruken av betong som veidekke ikke fått noe stort omfang. I disse landene brukes piggdekk som fører til en slitasje som er ukjent i de fleste andre land som anvender betongdekker. Vinterforhold med mange vekslinger rundt frysepunktet og veisaltning er også en utfordring i de nordiske landene. I 1984/85 startet derfor Norcem a.s et prosjekt med målsetning å øke bruk av betong til veidekker⁵⁸. Et viktig element i dette prosjektet var å utvikle betonger som hadde vesentlig bedre slitestyrke enn normal veibetong. Dette var nødvendig dersom betongdekker, som var dyrere å produsere enn asfaltdekker, skulle være konkurransedyktige sett i et levetidsperspektiv.

4.3.2 Utvikling av høyfast slitesterk betong

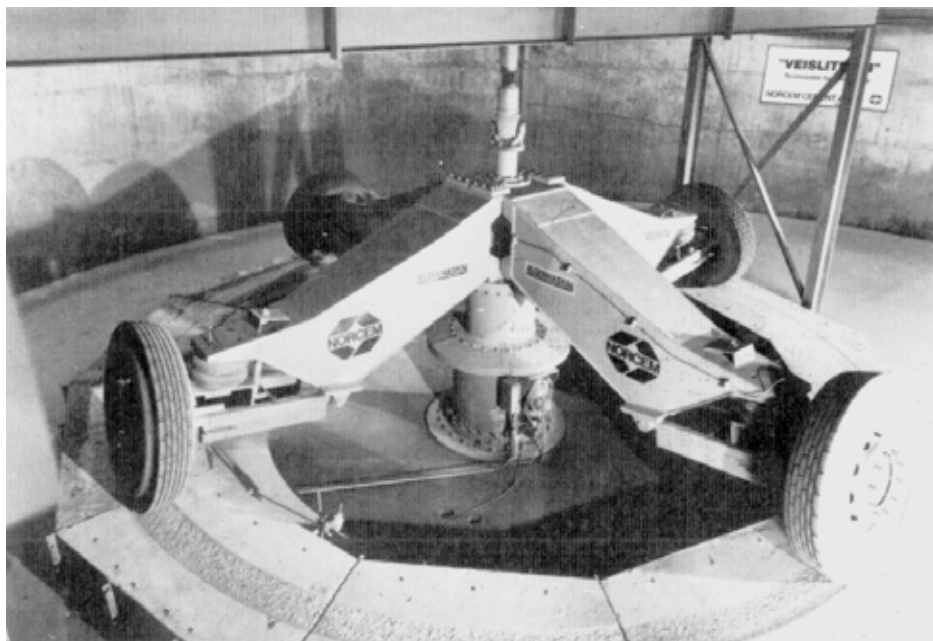
For å kartlegge hvilke faktorer som kunne ha innvirkning på piggdekksslitasje og spordannelse i veidekker utviklet Norcem a.s ”Veisliter’n” - en fullskala prøverigg med fire lastebilhjul med pigger som går med inntil 5 tonns hjultrykk i en bane med diameter på 6 meter. 12 trapesformede elementer av de materialene som skal testes danner en komplett ringbane som lastebilhjulene løper over. Nøyaktige prøverutiner og daglig elektronisk spormåling gir data om prøvematerialenes slitasmotstand.

”Veisliter’n” har vært et viktig hjelpemiddel for å utvikle høyfast slitesterk veibetong. I tillegg har saltfrostbestandighet blitt dokumentert ved standardisert prøving (etter den svenske ”Boråsmetoden” – SS 137244).

Det er gjort slitasjeprøver med betonger fra fasthetsklasse B30 til betonger med trykkfasthet opp i 160 MPa. Betonger i de høyeste trykkfasthetsklasser viste en svært god slitestyrke tilsvarende slitestyrken i en god granitt.

Flere veistrekninger med betong i fasthetsklasser B65 og B75 ble lagt ut på 1980-tallet. Disse ga verdifull kompetanse om legging av dekker i høyfast betong.

Saltfrostmotstandsprøvene har vist at betonger i trykkfasthetsklasse B65 og høyere er frostbestandige uten tilsetning av luftinnførende tilsetningsstoffer.



Figur 44: "Veisliter'n" – et viktig verktøy i utviklingen av høyfaste slitesterke betongdekker

4.3.3 Hvordan lage betong som gir et høyfast slitesterkt dekke?

Erfaringer fra "Veisliter'n" har, i tillegg til erfaringer fra utlagte betongveiparseller, gitt gode kunnskaper om hvordan et slitesterkt og varig betongdekke skal bygges opp.

Ved riktig valg av betongtype kan slitestyrken mot piggdekk heves til et så høyt nivå at slitasjen, sammenlignet med ordinær veibetong, kommer ned i 20 – 30 %. Det skulle tilsi at spordannelsen sammenlignet med asfalt kan reduseres til 10 – 15 %.

Erfaringene fra 60 prøveserier med 6 resepter i hver serie i "Veisliter'n" viser at man oppnår en slitesterk betong ved oppfyllelse av følgende forutsetninger:

- et godt grovt tilslag – hardt, seigt og finkrystallinsk
- $D_{max} < 22$ mm (16 – 18 mm gir bedre kjørekomfort)
- grov støpesand 0 – 8 mm (Finhetsmodul, FM, 2,9 – 3,2)
- noe finknust materiale av finknust tilslag (max 30 % fint tilslag)
- tilslagskurve uten partikkelsprang
- finstoff i tilslag < 4 mm bør være < 38 %
- lavt masseforhold, ikke over 0,40
- lav slump – stiv betong
- høyt sementinnhold – min. 380 kg/m³ betong
- silikatilsetning min. 5 % av sementvekten
- lavt porevolum

For å oppnå et høyfast og slitesterkt betongdekke med god kjørekomfort og lang levetid må det ved sammensetningen av betongen også tas hensyn til hvilke krav som stilles til betongen for at den skal kunne legges ut med valgt utleggerutstyr.

4.3.4 Bruksområder

Høyfast veibetong er mest aktuelt på veier og plasser med mye trafikk og bruk av piggdekk og kjettinger.

I Norge legges betong på veier kun sporadisk. I Sverige, som har omtrent de samme klimatiske betingelsene som i Norge – og som også har kjøretøyer med piggdekk – har betong på veier og plasser fått en større anvendelse. Vanlige betongkvaliteter i Sverige er B35 – B60 avhengig av trafikkmengde og trafikktype, eksempel ny vei med betong ved Uppsala/Arlanda.

4.3.5 Hvorfor høyfaste slitesterke betongdekker?

Årlig må en mengde veier reasfalteres grunnet piggdekkslitasje og spordannelse grunnet deformasjon av asfalten. I tillegg til problem med støvdannelse og fare for vannplaning, representerer den totale spordannelsen store mengder ny asfalt ved rehabilitering. Bruk av høyfaste slitesterke betongdekker vil redusere materialforbruket vesentlig. Erfaringer viser at dagens høykvalitets asfaltdekker må reasfalteres 3 ganger før betongdekker med tilsvarende trafikk må sporrepareres. Et eksempel på dette er E6 forbi Gardermoen (se <http://www.vg.no/bil-og-motor/artikkel.php?artid=574654>). I et intervju med VG uttaler en representant for Statens Vegvesen at det 22 år gamle betongdekket fortsatt forventes å være i bruk i ytterligere 15 år. Videre fastslås det at man sannsynligvis må vi asfaltere parallelle asfaltfelter om igjen tre ganger i løpet av den tiden betongdekket kun slites med 20-22 millimeter.

Nytt trafikkbilde og større fokus på miljøvennlige løsninger bør gjøre bruk av betongdekker stadig mer aktuelt – også i Norge.

5 Trafikkutfordringer og luftforurensing

5.1 Innledning

Et økt miljøfokus på trafikkutfordringer gir betydelige nye oppgaver og muligheter for betong som materiale og betongindustrien som utøver og utvikler av rasjonelle løsninger.

Kommunikasjonssektoren utgjør mange og viktige delområder, og vi kan i denne rapporten berøre vi noen eksempler.

Av interessante sektorer som vi ikke har berørt nedenfor, kan vi for eksempel nevne;

Det synes å være politisk enighet at økt overgang fra vei til bane for å; - redusere klimagassutslipp, redusere støy og støvplager, redusere trafikkskader og å få bedre arealutnyttelse, er et fornuftig grep der dette er økonomisk akseptabelt. Inkludert i denne debatten er behovet for modernisering og effektivisering av banenettet. Vinteren 2009-10 har debatten om togventing nådd et støynivå som overgår tidligere liknende oppmerksomhet. Høyhastighets-tog-debatt og – utredning er et annet varmt politisk tema.

Hvilket konkret resultat disse debattene fører til i investeringsprioritering og – når, vil tiden vise. Men, uansett utfall vil det føre til betydelige oppgaver på betongsektoren over tid. Som et kuriosium kan nevnes at dersom man i Norge skulle bygge noe tilsvarende den høyhastighetslinje som ferdigstilles fra sørvest til nordøst i Kina i 2011, hvor 80 % av strekningen går på betongbro, vil det tilsvare en togforbindelse Oslo-Trondheim med 1 ½ times reisetid og et betongforbruk omtrent lik det årlige norske forbruket av fabrikkblandet betong.

Sikkerhet og reduksjon av ulykker på og langs våre veier er et annet område hvor betongens egenskaper med sin formbarhet, motstandsevne og tyngde vil bidra til løsning av samfunnsproblemer. Det mangler ikke løsninger og muligheter. Effektive forbedringer avhenger av politiske prioriteringer.

Økt sentralisering vil kreve nye og forbedrede vei - og banesystemer i innfarten til byene, og til omkjøring av bykjernen for ikke å kvele trivsel og ferdsel i bykjernen. Betong vil være hovedmaterialet og betongindustrien en viktig medspiller når samferdsel skal effektiviseres med minst mulig sjenanse for omgivelsene og forurensning av miljøet.

5.2 NO_x-reduserende betong

Luften rundt oss består av ca 80 % Nitrogen og ca 20 % Oksygen. Når kjemiske prosesser som f.eks. forbrenning i en bilmotor bringer disse ufarlige gassene sammen, kan det oppstå skadelige/giftige gasser som for eksempel NO og NO₂. Disse gassene betegnes NO_x.

NO_x kan gi helseproblemer i trafikkerte områder, - og NO_x er også en drivhusgass, som bidrar til uønsket oppvarming av atmosfæren.

Spesielt Japanske forskere har i mange år arbeidet med ideer om å benytte betong som medium for å omdanne NO_x til ufarlige forbindelser. Teoretiske studier er etter hvert blitt omsatt til praktisk utnyttelse i industriproduserte betongprodukter.

Hovedparten av materialet til det etterfølgende kapittelet ble innsamlet under studieturer til Japan i 2000. Dette arbeidet ble delvis finansiert av NORCEM AS og ØKOBYGG.

5.2.1 Bakgrunn

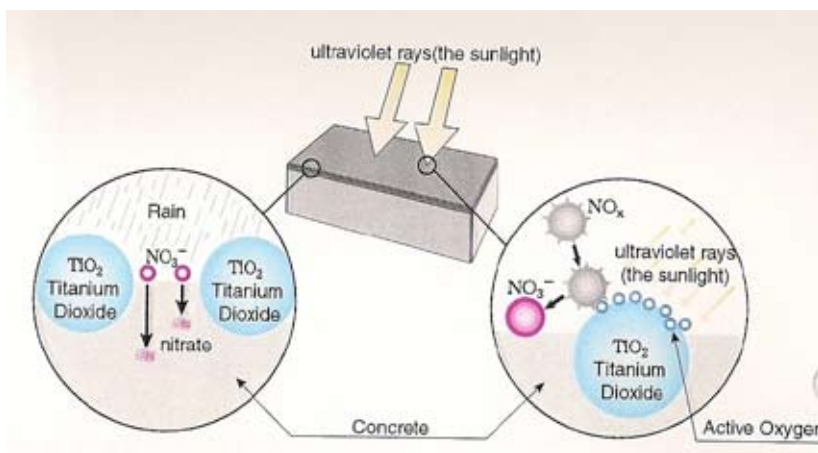
Gjennom mange år har jeg (Per Jahren) kommunisert med japanske forskere og produsenter om miljøtiltak i forbindelse med betong. I 1997 ble jeg gjort oppmerksom på arbeidet med NO_x-reduserende betong av Professor Motharu Tamai ved Kinki University utenfor Osaka. Under besøk i Japan i april 2000, ble vi fra en gammel norgesvenn,- Dir. Naomi Maeta, leder av Maeda Concrete Industry Ltd., orientert om fullskala produksjon av belegningsstein etc. med NO_x-reduserende betong. Produksjon skjer hos en gruppe av bedrifter med Mitsubishi Material som teknologispreder.

Etter forutgående studier av litteratur, og skriftlig kommunikasjon med japanske miljøer som arbeider med dette interessante emnet, besøkte jeg Japan i november 2000 for å orientere meg dypere i temaet.

Det etterfølgende er i hovedsak et sammendrag av erfaringer og rapporter etter dette.

5.2.2 Reaksjonsprinsipp

Et meget finkornet pulver (TiO₂) med fotokatalytiske egenskaper tilsettes i et overflateskikt i betongen. På overflaten av TiO₂-partiklene etableres en hinne med aktivt oksygen, når betongen belyses med ultrafiolett lys. Dette aktive oksygenet omformer NO_x til NO₃-ioner, som absorberes i betongen. NO omdannes til NO₂ og NO₂ til NO₃. NO₃-ionene i betongen vaskes senere ut av betongen av regnvann, som meget fortynnet salpetersyre. Dette er en miljømessig uskadelig substans.



Figur 45: Reaksjonsprinsippet for omdanning av NO_x⁵⁹

5.2.3 Katalysatorer

Katalysatoren som benyttes er vanligvis TiO₂ pulver som er særdeles finkornet. Den tilgjengelige informasjonen spriker noe med hensyn til;

- partikkelstørrelse
- renhet
- spesialbehandling

Det er tydelig at det her foreligger, i hvert fall 2 kilder til informasjonsforvirring;

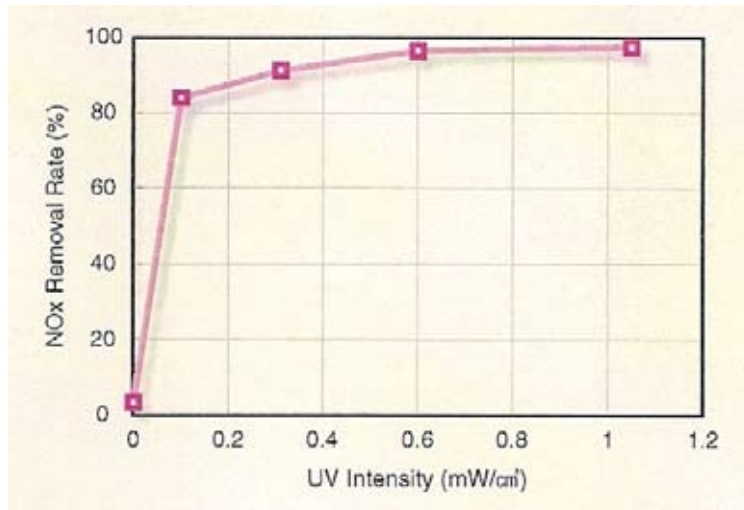
- behov for å beskytte teknologi

- forskernes ønske om reaksjonsmaksimering,- uavhengig av om dette er økonomisk optimalt eller ikke

SEM-bilder av katalystorene viser primærpartiklene med størrelse 0,06-0,18 mikron. Disse er kraftig agglomerert til sekundærpartikler med størrelsesorden 0,5-10 mikron.

5.2.4 Virkninger

NO_x-omdanningen øker med lysintensiteten.

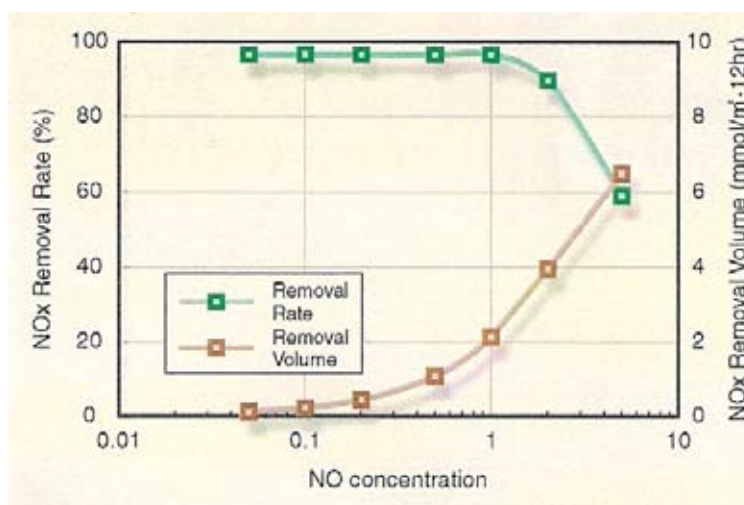


Figur 46: NO_x-absorpsjon avhengig av lysintensiteten

En absorpsjon på over 80 % er ventet ved en intensitet på det ultrafiolette lyset på 0,1 mW/cm². Dette tilsvarer strålingen på en overskyet dag⁵⁹.

Enkelte forsøk viser at dette i første rekke gjelder omdanning av NO til NO₂, og i mindre grad NO₂ til NO₃-ioner.

Absorpsjonen av NO_x er meget høy, - og stort sett konstant opp til en NO_x-konsentrasjon på ca 1 ppm.



Figur 47: NO_x-reduksjon avhengig av konsentrasjonen⁵⁹

Normalt varierer konsentrasjonene av NO_x nær veier fra 0,1 ppm til 1,0 ppm. I tunneler er målinger på 5 ppm ikke uvanlig. Målinger opp til 10 ppm er registrert.

Absorpsjonen reduseres med økende relativ fuktighet.

TiO_2 -pulveret er stabilt, og forbrukes ikke i prosessen.

Absorpsjonen er relativt konstant over tid (enkelte forsøk antyder en viss reduksjon i virkning de første 3 måneder, deretter er det relativt konstant, høy reaktivitet).

5.2.5 Produktområder

Sementprodusentene Ube og Mitsubishi Materials etablerte i desember 1999 en produsentgruppe som dekker hele Japan, og som produserer heller og belegningsstein under produktnavnet NOXER. Disse har etablert en organisasjon som kaller seg Photocatalytic Concretes Association.

Belegningsprodukter med NO_x -reduserende evner, produseres i alle farger og formater



Figur 48: Fortau med NO_x reduserende betongheller i Omiya

Disse belegningsproduktene er lagt ut en rekke steder i Japan. Fra egen besiktigelse nevner vi et felt i Omiya. I Omiya ca 1 times togreise nord for Tokyo er man i ferd med å bygge en ny metropol, som skal romme så vel statlige institusjoner som IT-selskaper. Den nye byen tar mål av seg til å bli et mønstersted i miljørammen.

Bildet viser et område i Omiya, hvor man på begge sider av en hovedgate hadde belagt fortauene med NOXER-stein i flere kilometers lengde.

Spesielle produkter med NO_x -absorberende egenskaper er utviklet til støyskjermer og tilsvarende rundt trafikkårer.

Det eksperimenteres med NO_x -absorberende tilsetning i sprøytebetong, spesielt til bruk i tunneler hvor NO_x -konsentrasjonen er høy.

5.2.6 Andre erfaringer

De fleste NO_x – absorberende betongproduktene produseres med en spesiell overflatebetong på 5-10mm tykkelse som inneholder det fotokatalytiske tilsetningsstoffet. Årsaken til å benytte lagdelte utstøpninger er økonomisk, - idet fotokatalytisk pulver er kostbart.

Det kan være spesielt fordelaktig å kombinere NO_x – absorberende egenskaper med permeable betongegenskaper.

5.2.7 Bruksområder

De vurderinger vi har gjennomført, peker spesielt mot bruk av NO_x-reduserende betong rundt de største trafikkårene i bystrøk. Teknologien vil ha størst nytte der vi både finner store NO_x-konsentrasjoner og mange mennesker. Det er de helsemessige fordelene av teknologien som er viktigst.

Teknologien vil også være nyttig for å redusere NO_x-utslipp til atmosfæren, men analyser peker ikke på spesielt fordelaktig kost-/nytterelasjoner i denne forbindelse.

5.2.8 Videreføring

Både private og offentlige aktører har satset på en meget ambisiøs utnyttelse av teknologien i Japan.

I Europa og Amerika har flere aktører arbeidet med å videreføre teknologien på andre betongområder. Allerede i 2000 besluttet veimyndighetene i City of Westminster i London å ta i bruk den japanske teknologien⁶⁰.

Heidelberg Cement group har utviklet et eget produkt på området som har fått navnet TiOMix⁶¹. Det pågår for tiden en rekke utviklingsprosjekter i Sverige med produktet, blant annet innen gatebelegning og til fasadeelementer

Norge både produserer TiO₂, og har støvavfall fra produksjonen med partikkelstørrelse som kan være interessant. Vi vet fra andre forsøk at slike produktalternativer, vil ha en katalysatoreffekt, men det foreløpig ukjent hvorvidt reaksjonseffektiviteten kombinert med pris og dokumentasjonsbehov, kan konkurrere med de kommersielle produkter som finnes på markedet.

6 Referanser

- 1 Hovland Kjetil Markenæs: Norge griper ikke sjansen. Teknisk Ukeblad 43/2009
- 2 Andersson Atle: Vindstille i Norge, (Bergens Tidende)Aftenposten 17.08.2009.
- 3 <http://www.darvill.clara.net/>
- 4 <http://inventors.about.com/>
- 5 <http://www.edf.fr> video på engelsk: <http://energies.edf.com/html/video/production/hydro/en/05/index.html>
- 6 www.energi21.no
- 7 www.nve.no
- 8 www.dirnat.no
- 9 <http://arcus.nve.no/website/vannkraftverk/viewer.htm>
- 10 www.energinorge.no
- 11 www.kraftverk.net
- 12 www.esha.be
- 13 Hovland Kjetil Markenæs: Gode utsikter for havvinden, Teknisk Ukeblad 32/2009
- 14 Internet 05.01.2010: Inneo - Precast Concrete Wind Towers, <http://www.inneo.es>
- 15 Internet 05.01.10: Vindturbiner, <http://www.spencon.no/> - produkter www.spencon.no
- 16 Internet 17.11.2009, Erlend Hermansen: Building the first full scale offshore floating wind turbine, <http://www.nordicenergysolutions.org/innovation/demonstration-pilot/wind-power/>
- 17 Betongindustrien Nr 13-2009: Starter vindselskap
- 18 Aftenposten 28.08.09: Gigantisk utbygging av vindmøller til havs.
- 19 Hovland Kjetil Markenæs: Kampen om vindkraften, Teknisk Ukeblad 27/2009.
- 20 Hovland Kjetil Markenæs: Vindklynge ser til Europa, teknisk Ukeblad 31/2009
- 21 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Fourth Assessment Report (AR4) 2007, (<http://www.ipcc.ch/>)
- 22 Lavenergiutvalget: *Energieffektivisering*, juni 2009 (http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/rapporter_planer/rapporter/2009/lavenergiutvalget---energieffektiviserin.html?id=570063)
- 23 Dokka, T.H., Hauge, G., Thyholt, M., Klinski, M., Kirkhus, A.: *Energieffektivisering i bygninger – mye miljø for pengene!* SINTEF Byggforsk Prosjektrapport 40, 2009
- 24 Europaparlament og råd, *Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings* (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0091:EN:HTML>)
- 25 Kommunal- og regionaldepartementet, *Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK)*, februar 2007 (<http://www.be.no/>)
- 26 Statens bygningstekniske etat, *Veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven*, februar 2007 (<http://www.be.no/>)
- 27 Statens bygningstekniske etat, *Temaveiledning Energi*, HO-1/2007 (<http://www.be.no/>)
- 28 Standard Norge, *Norsk Standard NS 3031:2007 Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data*
- 29 Thyholt, M., Dokka, T.H., Schild, P., Grini, C., Mysen, M., Sartori, I.: *Justering av energikrav i TEK*, SINTEF Byggforsk Prosjektrapport 27, 2008
- 30 Kommunal- og regionaldepartementet, *Høringsnotat - Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven*, 23. juni 2009 (<http://www.regjeringen.no/nb/dep/krd/Dokument/Hoyringar/Hoyringsdokument/2009/byggesakforskrift/horingsnotat.html?id=564949>)
- 31 Europaparlament, European Parliament legislative resolution of 23 April 2009 on the proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast) P6_TA(2009)0278 (<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P6-TA-2009-0278+0+DOC+XML+V0//EN>)
- 32 Thyholt, M., Lien, A. G., Dokka, T. H.: *Kartlegging av mekanisk kjøling i nye kontor- og forretningsbygg*, SINTEF Rapport STF22 A01525, 2002
- 33 Grini, C., Mathisen, H.M., Sartori, I., Haase, M., Wøhlk Jæger Sørensen, H., Petersen A., Bryn, I., Wigenstad, T.: *LECO- Energibruk i fem kontorbygg i Norge*, SINTEF Byggforsk Prosjektrapport 48, 2009
- 34 Dokka, T. H., Klinski, M., Haase, M., Mysen, M.: *Kriterier for passivhus- og lavenergibygg – Yrkesbygg*, SINTEF Byggforsk Prosjektrapport 42, 2009
- 35 International Energy Agency (IEA) Annex 44 Integrated Building Concepts <http://annex44.civil.aau.dk/>

-
- ³⁶ Cembureau, Task Force 5.4 Energy performance of concrete buildings, Collected Case Studies of Low Energy Buildings & Inventory of Research Projects, January 2006 (http://www.cembureau.eu/default.asp?p=Case_studies01.asp)
- ³⁷ European Concrete Platform, <http://www.europeanconcrete.eu/case-studies>
- ³⁸ European Concrete Platform, *Concrete for energy efficient buildings – the benefits of thermal mass*, april 2007 (<http://www.europeanconcrete.eu/publications/energy-efficiency>)
- ³⁹ European Concrete Platform, *General guidelines for using thermal mass in concrete buildings*, april 2009 (<http://www.europeanconcrete.eu/publications/energy-efficiency>)
- ⁴⁰ Grynning, S., Baetens, R., Jelle, B.P., Gustavsen, A., Uvsløkk, S., Meløysund, V.: *Vakuumisolasjonspaneler for bruk i bygninger - Egenskaper, krav og muligheter*, SINTEF Byggforsk Prosjektrapport 31, 2009
- ⁴¹ Cabot Corporation, <http://www.cabot-corp.com/Aerogel>
- ⁴² Mathiesen M., *Nanopartikler i bygningsmaterialer*, september 2009 (<http://www.byggemiljo.no/getfile.php/Filer/Nanomaterialer%2017.09.09.pdf>)
- ⁴³ Teknologirådet, <http://nano.teknologiradet.no/default1.aspx?m=249>
- ⁴⁴ Lothe Bygg AS, <http://www.lothebygg.no/>
- ⁴⁵ BASF, <http://www.micronal.de>
- ⁴⁶ Opstad, T. 'Nye Teknologier: Sement Sikrer Byggegrunn', Cement Nå, Nr. 1, 2006
- ⁴⁷ Kvisvik, K. 'Som ny med Stabilisering', Cement Nå, Nr. 3, 2006
- ⁴⁸ Hatlevik, L.M. 'Bindemidler og Metoder for Stabilisering/solidifisering (STSO) av forurensede masser', Cement Nå, Nr. 2, 2007.
- ⁴⁹ Kvisvik, K. 'Miljøfarlig Slam blir Elvepromenade', Cement Nå, Nr. 2, 2008
- ⁵⁰ Jahren, P. 'Kunstige fiskerev (KRF)', Rapport for Norges Forskningsråd, Fiskehus as, 1998.
- ⁵¹ Seaman, W. Jr.; Sprague, L.M. 'Artificial Habitats for Marine and Freshwater Fisheries', Academic Press Inc., San Diego, 1990
- ⁵² Bombase, G.; Fabi, G.; Spagnola, A. 'Design and planning of reef modules used by IRPEM for the artificial reef construction', Report EARRN-meeting, Southampton, January, 1998
- ⁵³ Ceccaldi, H.J. 'Some examples of Japanese Artificial reefs and some recent progress', Report EAARN-meeting, Southampton, January, 1998
- ⁵⁴ www.ssb.no
- ⁵⁵ www.sinfet.no
- ⁵⁶ <http://www.vegvesen.no/Fag/Teknologi/Vegteknologi/Gjenbruk>
- ⁵⁷ www.hy-tengabions.com
- ⁵⁸ Bærland, Torger, Høyfast vegbetong. Utvikling av slitest fast vegbetong 1985 – 89. Norcem Cement AS, Betongteknologi/FoU-Slemmestad 1989
- ⁵⁹ Brosjyre Mitsubishi Materials Corp: "NOXER-NOx removing paving blocks – Eng utgave
- ⁶⁰ Pressemelding Reuter 03.10.2000.
- ⁶¹ Åsa Nilsson: TiOmix – Fotokatalytiske muligheter. PPT-prentasjon CEMENTA, asa.nilsson@cementa.se

