



SINTEF



Rapport

Utnyttelse av betongslam

Tilgjengelig kunnskap og løsninger

Forfattere:

Christian J. Engelsen, Line T. Døssland

Rapportnummer:

2023:01510 - Fortrolig

Oppdragsgiver(e):

Betongklyngen CIC/KUPA



SINTEF Community
Postadresse:
Postboks 124 Blindern
0314 Oslo, Norway
Sentralbord: 40005100
info@sintef.no

Foretaksregister:
NO 919303808 MVA

Rapport

Utnyttelse av betongslam

Tilgjengelig kunnskap og løsninger

EMNEORD

Betongteknologi
Betongslam
Resirkulering
Ferdigbetong

VERSJON

Versjon 1.0

DATO

2024-06-18

FORFATTER(E)

Christian J. Engelsen, Line T. Døssland

OPPDRAGSGIVER(E)

Betongklyngen CIC/KUPA

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

Geir Frantzen

PROSJEKTNUMMER

102030619

ANTALL SIDER

29

SAMMENDRAG

Denne rapporten oppsummerer hvilke tilgjengelige løsninger som kan benyttes til behandling og gjenvinning av betongslam. Rapporten er utført på oppdrag fra Betongklyngen CIC. Løsningene inkluderer tradisjonelle sedimenteringsanlegg, system med vasketrommel og filterpresse, system med full resirkulering av betongslam samt andre teknologiprinsipper som tørrvask. Hver enkelt separat løsning eller i kombinasjon må tilpasses lokale fabrikkforhold som resipient følsomhet, avstand til deponi, tilgjengelig plass, produksjonsvolum, ny fabrikk eller tilpasning av eksisterende. Gjenvinning av alt prosessvann vil være mer krevende for små produsenter.

Tilbakeføring av prosessvann er helt avhengig av god kontroll på mengden suspendert materiale og kjemisk sammensetning. Det anbefales å undersøke hvordan prosessvannet kan påvirke betongens egenskaper og hvordan vannløselige kjemiske stoffer fordeler seg. Dette kan avdekke eventuelle forhøyede konsentrasjoner i prosessvann eller slam og bidrar til å finne egnede gjenbruksalternativer.

UTARBEIDET AV

Christian J. Engelsen

SIGNATUR

KONTROLLERT AV

Harald Justnes

SIGNATUR

GODKJENT AV

Anneli Paulsen

SIGNATUR

COMPANY WITH
MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
ISO 9001 • ISO 14001
ISO 45001

RAPPORT NR.

2023:01510

GRADERING

Fortrolig

GRADERING DENNE SIDE

Fortrolig

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	3
2	Dagens regelverk og praksis	4
2.1	Definisjon av betongavfall og betongslam	4
2.2	Håndtering og gjenvinning av betongslam	4
2.3	Krav til utslipp av prosessvann til resipient	5
2.4	Klassifisering av gjenvunnet materiale fra returbetong og betongslam	7
3	Behandling og gjenvinning av ferske betongrester og betongslam	9
3.1	Behandling ved tradisjonelle sedimenteringsbasseng	9
3.2	Behandling med vasketrommel	10
3.3	Behandling med vasketrommel og filterpresse	13
3.4	Tilbakeføring av betongslam til produksjonen	15
3.5	Beregninger av tilførte stoffer til ny betong	16
3.6	Vannbehandling	17
4	Andre gjenbruksalternativer for betongslam	18
4.1	Resirkulering ved normal herdning	18
4.2	Resirkulert tilslag ved tørrvasketeknologi	18
4.3	Separasjon av tilslag for å bruke sementpasta som bindemiddel	20
4.4	Jordforbedring	20
4.5	Utvalg av andre teknologier og løsninger	23
5	Behov for ny kunnskap	24
6	Konklusjon	26
7	Referanser	27

1 Innledning

I dagens samfunn er bærekraftig ressursutnyttelse og miljøvennlig avfallshåndtering av største betydning. Dette gjelder ikke minst for betongslam, et biprodukt fra betongproduksjon, som har potensial til å bli en verdifull ressurs. Betongindustrien står overfor utfordringer knyttet til ressursutnyttelse og avfallshåndtering. En viktig del av løsningen er gjenvinning av betongmaterialer. Dette inkluderer fersk returbetong og betongslam. Ved å resirkulere disse materialene kan behovet for ny produksjon reduseres og avfallsmengden minimeres. Kombinert med strenge kvalitetskrav kan gjenvinning av betong bidra til en mer bærekraftig byggebransje. Denne rapporten skal utforske ulike aspekter ved behandling og gjenvinning av betongslam i Norge.

Gjenvinning av fersk returbetong som gjenvunnet tilslag er en praksis som blant annet reguleres av Forurensningsforskriftens kap. 33. Gjenvunnet tilslag kan brukes i betongblandingen. Dette bidrar til å redusere behovet for nye råmaterialer.

Vaskevann fra betongproduksjon inneholder finstoff, tilslag og sementpasta. Ved å rense og gjenbruke dette vaskevannet kan vannforbruket minimeres og utslipp av forurensende stoffer reduseres samtidig. Effektiv renseteknologi er avgjørende for å oppnå dette.

Fint betongslam, som består av partikler mindre enn 0,125 mm, kan også gjenvinnes. Dette materialet kan brukes i produksjon av betong, eller som tilsetningsstoff i andre byggematerialer. Ved å inkludere resirkulert betongslam i nye betongblandinger reduseres behovet for naturressurser og avfallsmengden minimeres.

Tørrvasketeknologi og separasjon av tilslag og sementpasta er innovative metoder for å håndtere betongslam. Disse teknologiene bidrar til å øke utvinningsgraden av verdifulle materialer og redusere avfallsmengden.

Betongslam kan også benyttes i jordforbedring, dette bidrar til å forbedre jordens struktur og fruktbarhet, og kan være spesielt nyttig i områder med dårlig jordkvalitet.

Det er viktig å merke seg at all bruk og håndtering av betongslam må være i samsvar med gjeldende regelverk og beste praksis for å sikre miljømessig bærekraft og sikkerhet.

Betong Norge har utgitt veilederen Resirkuleringsanlegg på betongfabrikk (Betongfokus, 2023). Veilederen gir eksempler på design og dimensjoner for anleggets funksjoner slik at de møter krav i lover og forskrifter som er gjeldende på utgivelsestidspunktet. Utgangspunktet er ved bruk av sedimenteringsanlegg for behandling av betongslam og slamvann.

I denne rapporten blir flere andre tilgjengelige løsninger for håndtering og resirkulering av betongrester og betongslam omtalt. Dette inkluderer gjenvinning og bruk av gjenvunnet materialet både på og utenfor betongfabrikken. Denne rapporten skal oppsummere tilgjengelige teknologier for utnyttelse av betongslam og se på hvordan Norge kan fortsette å være en foregangsnaasjon når det gjelder ressursutnyttelse og slambehandling. Rapporten er utført på oppdrag fra Betongklyngen CIC.

2 Dagens regelverk og praksis

2.1 Definisjon av betongavfall og betongslam

Forurensningsforskriften kap. 33 regulerer forurensning fra produksjon av fabrikkbetong, betongvarer og betongelementer (Forurensningsforskriften, 2022). Forskriften definerer betongavfall og slam på følgende måte:

- a) «Betongavfall er i denne forskriften definert som alle fraksjoner av betongrester som dannes gjennom egen produksjon. Betongavfall omfatter også slam fra sedimentasjonsanlegg»
- b) «Med betongslam menes kun betongavfall som samles opp fra sedimentasjonsanlegg. Definisjonen av betongslam inkluderer ikke våte betongrester fra tømning og vask av biler»

Siden det finnes gjenvinningsløsninger i dag som håndterer returbetong (restbetong fra betongbil) og betongslamrester rett fra betongbil, vil betegnelsen betongslam i denne rapporten også omfatte betongslam som oppstår fra tømning og vask av biler.

2.2 Håndtering og gjenvinning av betongslam

Betongavfall defineres som: herdete og uherdete rester fra produksjonen og fra tømning og vask av biler og produksjonsutstyr, samt betongslam. Det nye kapittel 33 i forskriften trådte i kraft 1. januar 2023.

Lagring av betongslam utføres i henhold til:

- Lagring av eget betongavfall skal ikke føre til skade eller ulempe for miljøet.
- Betongavfall kan mellomlagres i påvente av gjenvinning i inntil tre år.
- Betongavfall som ikke kan gjenvinnes, skal leveres til lovlig avfallsanlegg innen ett år.
- Betongslam som mellomlagres før endelig disponering, skal avvannes på tett dekke med drenering mot tilfredsstillende renseløsning.
- Det skal lages en plan for håndtering av betongavfall. Planen skal være tilgjengelig ved kontroll eller på forespørsel fra forurensningsmyndigheten.

Gjenvinning av betongavfall utføres i henhold til:

- Betongavfall skal primært gjenvinnes ved at det brukes som tilslag i produksjon av ny betong eller brukes på annen måte i egen produksjon slik at det kommer til nytte ved å erstatte materialer som ellers ville blitt brukt.
- Betongavfall som ikke brukes i egen produksjon, kan gjenvinnes på annen måte ved at det kommer til nytte ved å erstatte materialer som ellers ville blitt brukt dersom følgende krav er oppfylt:

- a) Innholdet av metaller i betongrestene og -slammet må ikke overstige de til enhver tid gjeldende grenseverdier for betongavfall (Avfallsforskriften, 2020).
 - b) Betongrestene og -slammet må ikke være tilsatt eller påført kjemikalier som inneholder andre stoffer enn de som er nevnt i a) og som kan føre til nevneverdige skader eller ulemper for helse eller miljø.
 - c) Betongrestene og -slammet må ikke inneholde armeringsjern eller plast.
- Betongavfall som ikke gjenvinnes jf. første og andre ledd, skal leveres til lovlig avfallsanlegg.

Betongslam som skal gjenvinnes utenfor egen produksjon skal overholde grenseverdiene gjeldende for betong og tegl fra riveprosjekter, se Tabell 1.

Tabell 1 Maksimalt tillatt konsentrasjon av helse- og miljøfarlige stoffer i betongslam som skal gjenvinnes utenfor egen produksjon (Avfallsforskriften, 2020)

Parameter	Konsentrasjon (mg/kg)
Arsen (As)	15
Bly (Pb)	60
Kadmium (Cd)	1,5
Kvikksølv (Hg)	1
Kobber (Cu)	100
Sink (Zn)	200
Krom (Cr)	100 (tot)
Sekstverdig krom (Cr(VI))	8
Nikkel (Ni)	75
PCB:	
∑ 7PCB	0,01
PAH-forbindelser:	
∑ 16 PAH	2
Benso(a)pyren	0,1
Alifatiske hydrokarboner:	
Alifater C5–C6	7
Alifater >C6–C8	7
Alifater >C8–C10	10
Alifater >C10–C12	50
Alifater >C12–C35	100

2.3 Krav til utslipp av prosessvann til resipient

Prosessavløpsvann som slippes ut til resipient skal overholde kravene i Tabell 2. For mange betongprodusenter vil det kreve både en risiko- og miljøkartlegging av resipienten og eventuelt nye tekniske løsninger, for å dokumentere samsvar med disse kravene. Dokumentasjonskravet skal derfor overholdes innen 1. januar 2026.

Kravene i Tabell 2 skal overholdes i utslippspunkt til resipient som er definert som alle mottakere (dvs. vann og grunn) av forurensende utslipp fra virksomheten. For særlig sårbar resipient kan andre krav stilles (f.eks. pH) og det er viktig at betongprodusenten kartlegger hvor sårbar resipienten er.

Forskriften angir ikke spesifikt hvordan måleprogrammet skal utformes, men at målingene skal gjenspeile normal drift. Det vil si at alle utslipp fra produksjonen dekkes og at variasjoner hensyntas, noe som er viktig når prøvetagningshyppighet skal bestemmes. Det er i utgangspunktet ikke krav til kontinuerlig måling av pH, men dette kan være praktisk nødvendig med kontinuerlige utslipp.

Tabell 2 Prosessavløpsvann skal ikke overstige følgende konsentrasjonsgrenser ved utslipp til resipient

Parameter	Konsentrasjonsgrense (mg/l)
Bly (Pb)	0,1
Kadmium (Cd)	0,02
Kobber (Cu)	0,2
Krom (Cr)	0,1
Sekstverdig krom (Cr(VI))	0,03
Kvikksølv (Hg)	0,005
Nikkel (Ni)	0,5
Sink (Zn)	0,5
Suspendert stoff (SS)	30
pH	9,5 ^a

^a For sårbare resipienter (f.eks. gyteelver, elver med lav vannføring etc.) skal ikke pH overstige 8

2.4 Klassifisering av gjenvunnet materiale fra returbetong og betongslam

Definisjon, klassifisering og anbefalt innblandingmengde av gjenvunnet materiale fra betong til betongproduksjon, er angitt i NS-EN 206 NA og NS-EN 12620. En oversikt er laget i Tabell 3. Tilslaget i fersk returbetong og betongslam kan gjenvinnes til GVT (Gjenvunnet Vasket Tilslag) mens det i herdnet tilstand kan knuses til GKT (Gjenvunnet Knust Tilslag).

Tabell 3 Definisjon og innblandingsregler for gjenvunnet og resirkulert materiale til betong

Gjenvunnet materiale	Definert opprinnelse	Innblandingmengde i produksjon av ny betong
Gjenvunnet Vasket Tilslag (GVT)	Tilslag som kommer fra vasket fersk betong (returbetong og slam).	GVT > 5 % av total tilslagsmasse: Skal samsvare med NS-EN 12620. GVT < 5 % av total tilslagsmasse: Samsvar med NS-EN 12620 kreves ikke.
Gjenvunnet Knust Tilslag (GKT)	Knust herdnet betong som ikke er benyttet i byggearbeider.	GKT > 5 % av total tilslagsmasse, skal behandles som RT iht. nasjonalt tillegg i NS-EN 206. GKT < 5 % av total tilslagsmasse: Samsvar med NS-EN 12620 kreves ikke. GKT kan inngå med opptil 5 % innenfor hver av fraksjonene 0/4 mm og 4/32 mm. Dersom GKT kun benyttes i fraksjon 4/32 mm, kan andelen inngå med 5 % av total tilslagsmasse.
Resirkulert Tilslag (RT)	Knust herdnet betong som tidligere er benyttet i byggearbeider.	RT 0/4 mm: Kan benyttes opp til 20 % avhengig av type RT, samt trykkfasthets- og bestandighetsklasse som skal benyttes. RT 4/32 mm: Kan benyttes opp til 40 % avhengig av type RT, samt trykkfasthets- og bestandighetsklasse som skal benyttes. Høyere verdier for RT kan benyttes der dette er angitt i betongspesifikasjonen. Dette kan være nødvendig å justere materialegenskapene for betongen. Dette skal tas hensyn til i prosjekteringen og angis i betongspesifikasjonen. For konstruksjoner med krav til vanntetthet, frostbestandighet eller motstand mot kloridinntrenging må egnetheten av RT dokumenteres spesielt.

Kvaliteten på blandevann for produksjon av betong kan påvirke betongs størkningstid, fasthetsutvikling og bestandighetsegenskaper. NS-EN 1008 angir krav til blandevann for å lage betong som samsvarer med NS-EN 206. Standarden skiller mellom blant annet drikkevann og vann gjenvunnet fra prosesser i betongindustrien (prosessvann). Drikkevann anses som egnet uten prøving mens prosessvannet skal oppfylle bestemte krav. Et utdrag av kravene fra NS-EN 1008 er gitt i Tabell 4 og viser hva som skal oppfylles for prosessvann.

Tabell 4 Utdrag av krav til betongblandevann som er resirkulert fra betongindustrien brukt iht. NS-EN 1008

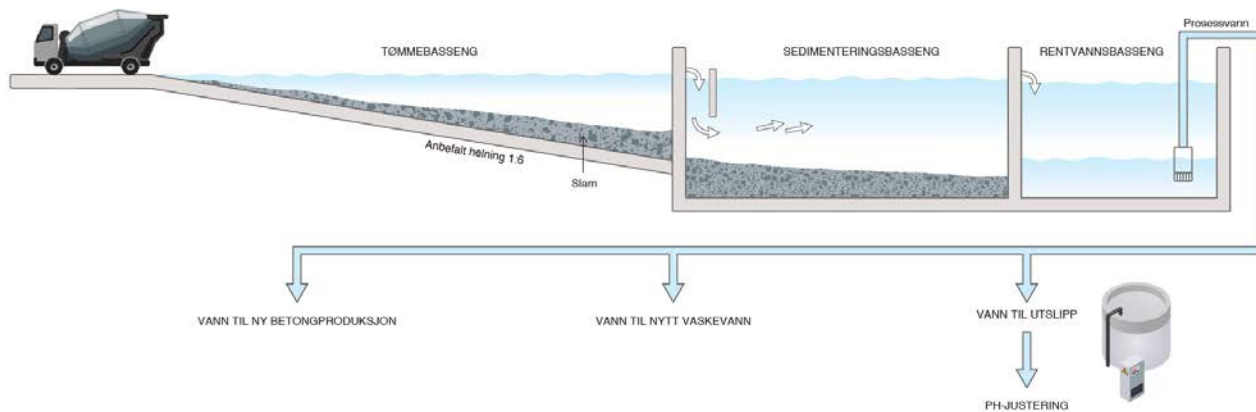
Parameter	Enhet	Krav
Oljer og fettstoffer	-	Ikke mer enn synlige spor.
Rengjøringsmidler	-	Alt skum bør forsvinne i løpet av 2 min.
Lukt	-	Ingen lukt unntatt lukten som er tillatt for drikkevann og en svak lukt av sement og der det er masovnslegg i vannet, en svak lukt av hydrogensulfid.
Suspendert stoff (SS)	%	SS skal maksimalt utgjøre 1 % av den totale mengden tilslag. ^a
Syrer	pH enhet	≥ 4
Humusstoff	-	Fargen skal vurderes kvalitativt som lysegul eller lysere etter tilsetning av NaOH.
Klorider (Cl ⁻)	mg/l	500 (spennarmert betong med injeksjonsmørtel) 1000 (armert betong med innstøpt metall)
Sulfater (SO ₄ ²⁻)	mg/l	2000
Alkalier (Na ₂ O _{ekv})	mg/l	1500
Trykkfasthet	%	Trykkfasthet for betong eller mørtel etter 7 døgn skal være minst 90% av trykkfastheten for samme prøvelegemer tilberedt med avionisert eller destillert vann.
Sukker	mg/l	100
Fosfater (P ₂ O ₅)	mg/l	100
Nitrater (NO ₃ ⁻)	mg/l	500
Bly (Pb)	mg/l	100
Zink (Zn)	mg/l	100

^a Regneeksempel.: 18,5 kg på 1850 kg tilslag/m³. Blandevann på 182 kg/m³ (330 kg sement og v/c = 0,55), gir maksimal tillatt densitet på 1,054 i blandevannet utregnet etter formel NS-EN 1008 A.4.4.

3 Behandling og gjenvinning av ferske betongrester og betongslam

3.1 Behandling ved tradisjonelle sedimenteringsbasseng

Den vanligste løsningen for behandling av betongslam i dag er i sedimenteringsanlegg. I Figur 1 vises prinsippet med et sedimenteringsanlegg bestående av tømmebasseng, sedimenteringsbasseng og rentvannsbasseng. Betongslam sedimenterer ved gravitasjon i alle bassengene med de groveste partiklene i tømmebassenget og de fineste partiklene i rentvannsbassenget. I veilederen til Betong Norge beskrives viktige driftsrutiner, dimensjonering, prøvetakning, resirkuleringsmuligheter etc. for denne typen anlegg. Hensikten med veilederen er blant annet å belyse hva som kreves av endringer for betongprodusenter for å samsvare med forurensningsforskriften. Veilederen peker på at det spesielt er kravene til pH og suspendert stoff i utslippsvann fra bedriftens område som vil kreve nye tiltak på betongfabrikkene.



Figur 1 Sedimenteringsanlegg med et tømmebasseng, et sedimenteringsbasseng og et rentvannsbasseng (Betongfokus, 2023).

En vurdering av behandling av betongslam i bare sedimenteringsanlegg vises i Tabell 5. Det bør nevnes at eksakt utforming på løsning er avhengig av beliggenhet, areal tilgjengelig, produksjonsvolum etc. Derfor varierer installert løsningsutforming på betongfabrikkene.

Tabell 5 Vurdering av løsning med sedimenteringsanlegg

Parameter	Vurdering
Miljørisiko	Påvirkning på resipient er kontrollert gjennom utslippskrav i forurensningsforskriften for prosessvann. Løsningen kan relativt enkelt resirkulere deler av vannet i rentvannbassenget. Det er likevel ønskelig at så lite prosessvann som mulig slippes ut da prosessvannet i seg selv er svakt forurenset og vannet bør resirkuleres. Gjenvinning av betongslam er begrenset med dagens installerte sedimenteringsanlegg. Der det ikke legges opp til gjenvinning leveres betongslammet til godkjent deponi.
Kvalitet på produkt	Bruk av rensert prosessvann som blandevann endrer ikke kvaliteten på betongen. Gjenvunnet tilslag fra sedimenteringsanlegg vil typisk inneholde noe slam- og mørtelrester som kan redusere tilslagskvaliteten.
Robusthet mht. volumstopper	Ved riktig dimensjonering, utforming og drift så er løsningen robust med hensyn til volumtopper av betongslam.
Tilgjengelighet for løsningen	Løsningen er tilgjengelig og utprøvd over lang tid.
Økonomi	Kan være krevende å overholde kravene til pH og suspendert stoff i rensert prosessvann uten tiltak. I dag bør et sedimenteringsanlegg ha 4 kammer med et isolert overbygg og porter for å kunne være driftsdyktig hele året. I tillegg kommer pumper, rørgater og elektrisk anlegg. Det må også bygges avrenningsplater med varmekabler utvendig. Dette har en kostnad på rundt 4,5 mill. kr (Sørensen, 2024). Det er en vesentlig kostnad å levere betongslam til godkjent deponi (500-1000 kr per tonn).

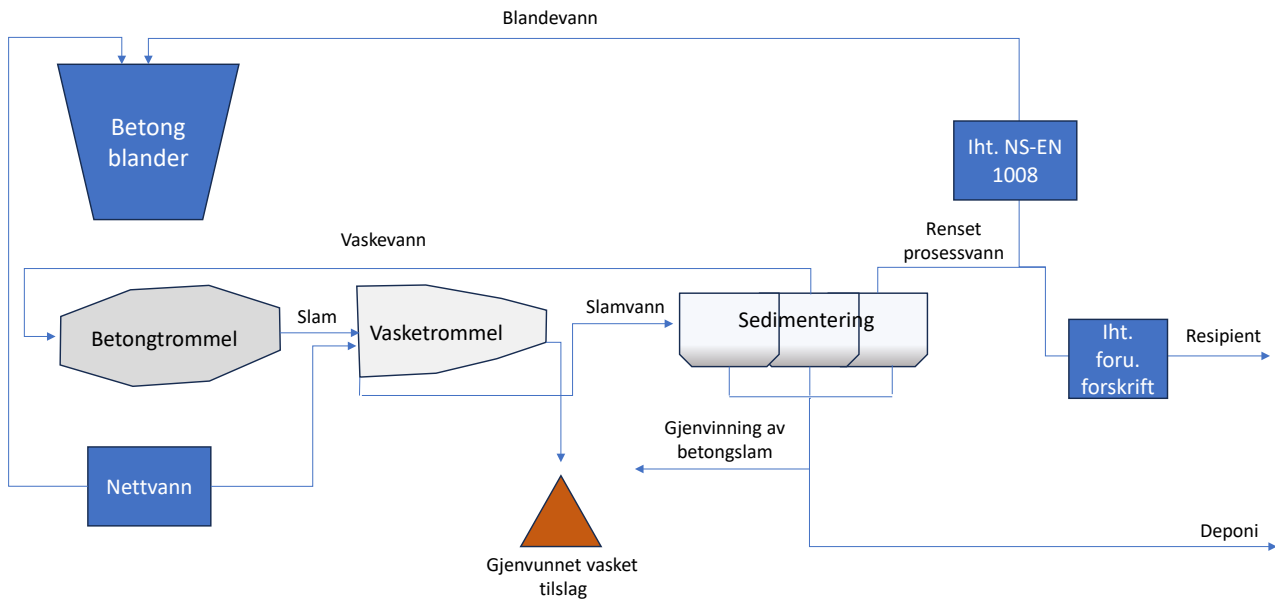
3.2 Behandling med vasketrommel

For å redusere slammengden og øke gjenvinningen av tilslaget kan en betongvasketrommel installeres. En prinsippsskisse er vist i Figur 2. I vasketrommelen blir tilslag typisk > 0,15-0,25 mm skrubbet og skylt i vanligvis et skruesystem. Vasketromlene varierer i utforming, kapasitet og sannsynligvis mengden sementpastarester det separerte tilslaget inneholder, se Figur 3. Et vasket rent gjenvunnet tilslag vil gjenspeile de opprinnelige egenskapene til tilslaget før det ble blandet inn i betongen. En vasketrommel vil redusere tørrstoffmengden i betongslammet med omtrent 80%. SIMEM opplyser om (Figur 3c) en vaskekapasitet på 11-22 m³ returbetong og 4-8 m³ betongslam (angitt som normal mørtel), vask av 6-12 betongbiler per time og tømning av opptil 2 betongbiler samtidig. Strømbehov opplyses å være en elektrisk motor i separator med kapasitet på 5,5-11 kW og en eventuell pumpe til rensert slamvann med kapasitet på 2,2 kW.

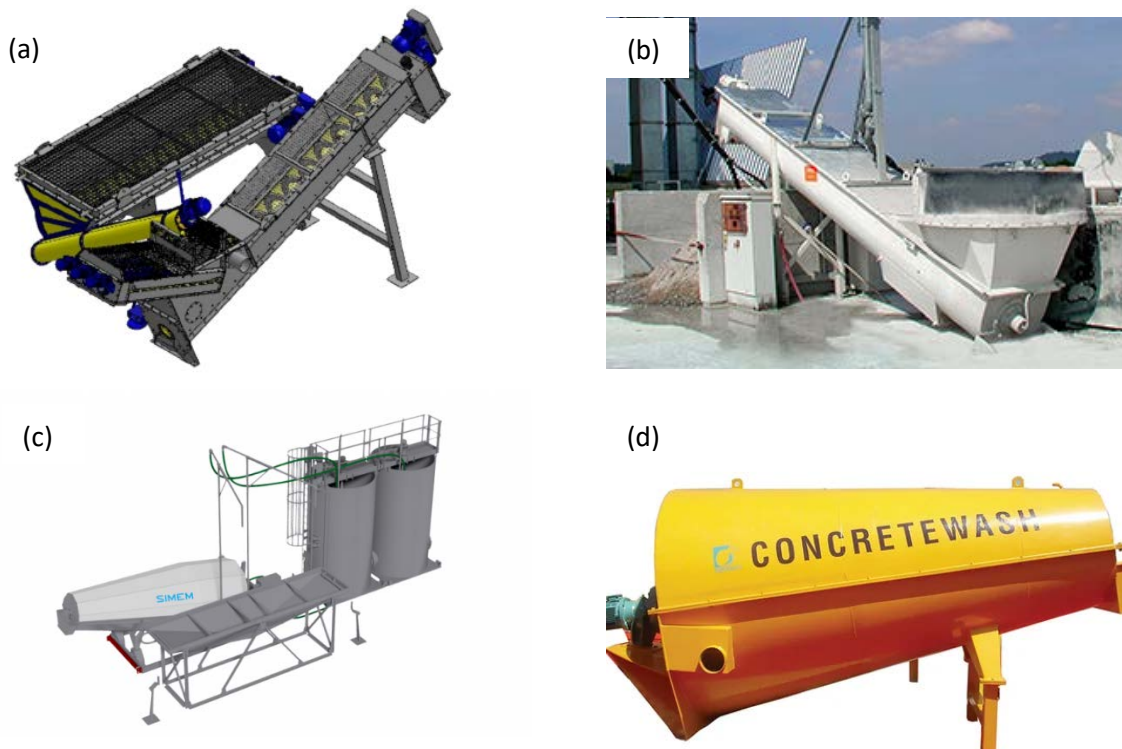
I et nylig publisert studie fra Italia, ble returbetong behandlet i et vaskeanlegg (Figur 2a) mens slamvannet ble filtrert gjennom et mikrofilter. Etter filtrering ble mengden suspendert stoff (SS) målt til 22 mg/l og alle øvrige egenskaper var i henhold til EN 1008. Studien viste at fint og grovt gjenvunnet tilslag var iht. EN 12620. Trykkfasthetsutviklingen var den samme for referansen og for betong der 50% gjenvunnet vasket tilslag erstattet 50% av både fint og grovt tilslag, samtidig som alt blandevann var mikrofiltrert vaskevann.



Norske betongfabrikker varierer i størrelse, beliggenhet, tilgang på materialressurser, avhendingsmuligheter og hvilke håndteringsløsninger for returbetong og betongslam som brukes i dag. I tillegg varierer styrings- og behandlingsrutiner som er utarbeidet for å redusere generering av betongslam. Disse faktorene bidrar til at valgt løsning ofte utformes forskjellig på betongfabrikkene. I Tabell 6 gis det en vurdering av et vasketrommelsystem.



Figur 2 Prinsippskisse for trinn med vasketrommel i behandlingen av betongslam med innspill fra Sande (2024).



Figur 3 Behandling av returbetong og betongslam. (a) Egenskapene til vasket gjenvunnet tilslag har blitt dokumentert (Diotti et al., 2022). Vaskesystem fra (b) Liebherr (www.liebherr.com) (c) Simem BETONWASH integrert med SIMEM WATERWASH som renser slamvannet for å kunne brukes som blandevann (<https://simem.com/machine/water-recycling-system-betonwash>) (d) Aquarius Engineers Pvt. Ltd (www.indiamart.com/aquariusengineers)

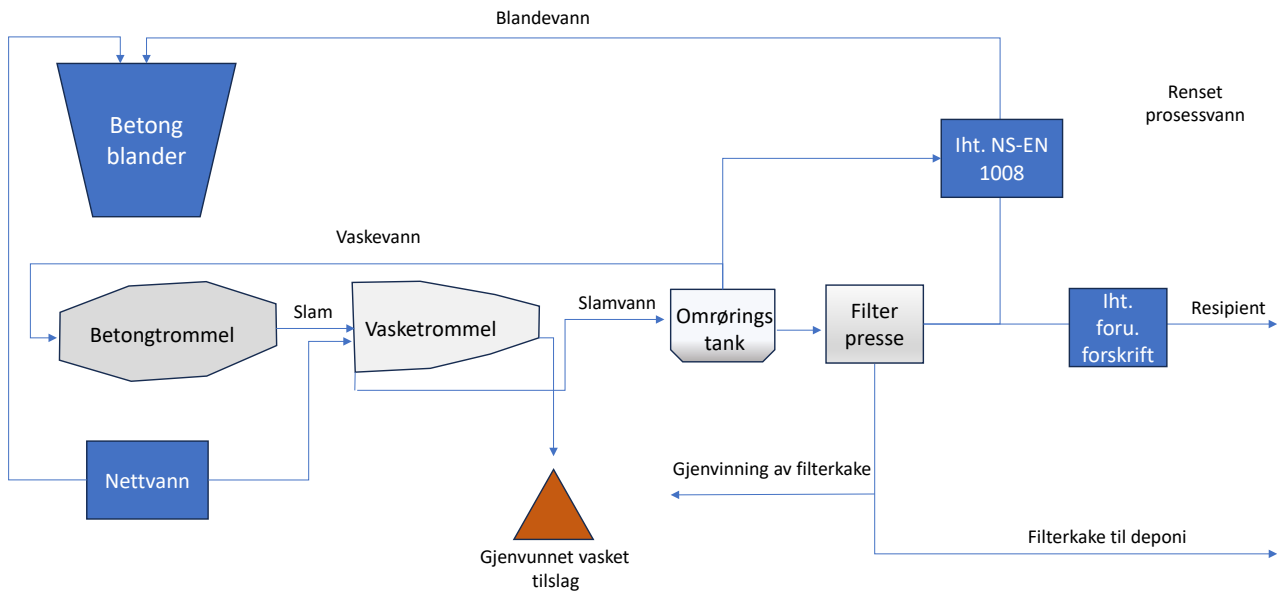
Tabell 6 Vurdering av behandlingssløsning med vasketrommel

Parameter	Vurdering
Miljørisiko	Påvirkning på resipient er kontrollert gjennom utslippskrav i forurensningsforskriften for prosessvann. Redusert direkte miljøpåvirkning fordi betongslammengden reduseres og gjenbruk av tilslaget kan økes kraftig. Løsningen leveres med system for resirkulering av slamvann som vil redusere vannforbruket. Der det ikke legges opp til gjenvinning av restbetongslam leveres det til godkjent deponi.
Kvalitet på produkt	Bruk av <u>kontrollert</u> rensert prosessvann som blandevann endrer ikke kvaliteten på betongen. Gjenvunnet vasket tilslag fra vasketrommel gjenspeiler i stor grad opprinnelig benyttet tilslag og kan gjenbrukes i betongproduksjonen i sin helhet.
Robusthet mht. volumtopper	Løsningen er avhengig av hvilke komponenter som installeres sammen (sedimenteringsbasseng, filterpresse, etc.). Selve betongtrommelen kan ha god kapasitet og løsningen kan utformes slik at flere biler tømmer samtidig.
Tilgjengelighet for løsningen	Løsningen er tilgjengelig og noe utprøvd i Norge.
Økonomi	Investeringskostnad for installasjon av trommelvasker er omtrent 2,0 mill. kr. Dette inkluderer vinterisolering, elektrisk anlegg, pumper og rør (Sørensen, 2024). Reduksjon av betongslammengde reduserer eventuelle deponikostander ekvivalent med mengden slamreduksjon.

3.3 Behandling med vasketrommel og filterpresse

For å redusere slammengden ytterligere, kan det installeres en filterpresse som vil redusere vanninnholdet i betongslammet til 20-30%. En prinsippsskisse er vist Figur 4 med en omrøringstank etter vasketrommel for å hindre sedimentering før behandling i filterpresse. Vanninnholdet i betongslammet ut fra vasketrommel kan være opptil 90% og reduseres til ned mot 20% i filterkaken.

Løsningen med filterpresse er egnet til å gjenvinne mer slamvann enn uten. Filterpressen lager såkalte filterkaker av betongslammet. Generelt så er gjenbruk av filterkaker i ny betong krevende fordi filterkaken må dispergeres i betongblandingen dersom den skal virke som fyller eller reaktivt materialet. Resultater fra et fullskala forsøk i produksjonen av betongbelegningsstein, viste at filterpressekake fra vaskeslam av gravemasser (med noe innhold av betong) hadde en sementbesparende effekt dersom materialet ble dispergert (de Lange et al., 2017).



Figur 4 Prinsippskisse for trinn med vasketrommel og filterpresse i behandlingen av betongslam med innspill fra Sande (2024).



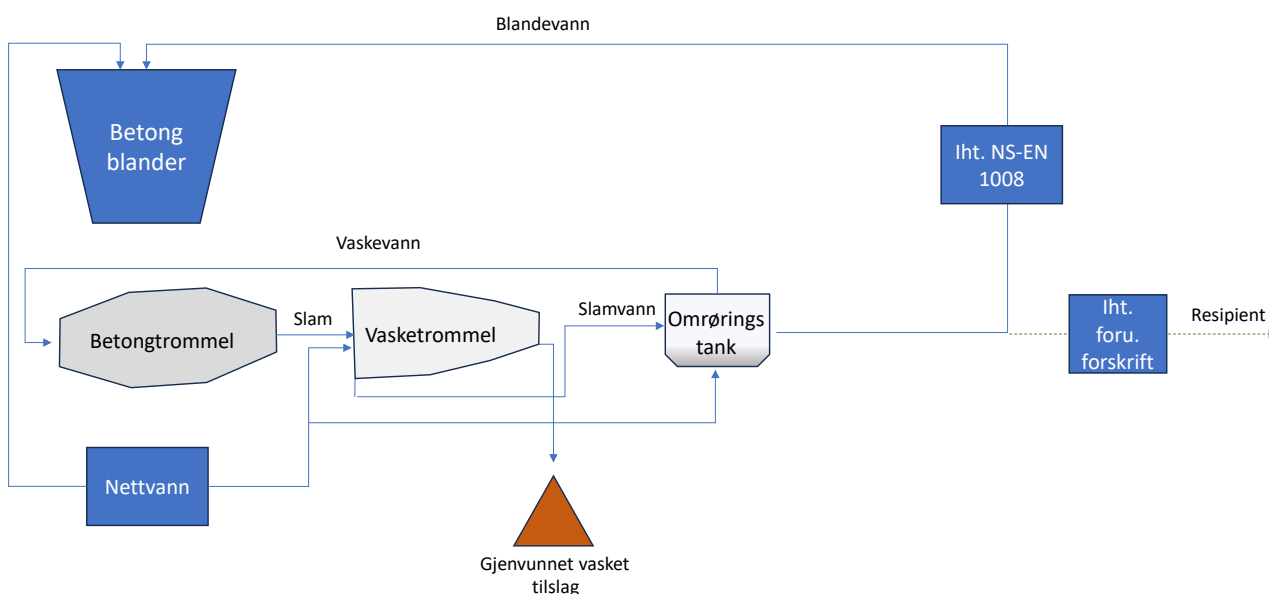
Figur 5 Filterpresse fra MW Watermark (<https://mwwatermark.com>)

Tabell 7 Vurdering av behandlingsløsning med vasketrommel og filterpresse

Parameter	Vurdering
Miljørisiko	Påvirkning på resipient er kontrollert gjennom utslippskrav i forurensningsforskriften for prosessvann. Med filterpresse reduseres miljøpåvirkningen, fordi betongslammengden reduseres og mer slamvann kan gjenvinnes. Der det ikke legges opp til gjenvinning av filterkaken, så leveres det til godkjent deponi.
Kvalitet på produkt	Bruk av <u>kontrollert</u> rensed prosessvann som blandevann endrer ikke kvaliteten på betongen.
Robusthet mht. volumtopper	Løsningen er avhengig at slambehandlingen utformes slik at vedlikehold på filterpresse ikke innvirker på produksjonsdriften.
Tilgjengelighet for løsningen	Løsningen er tilgjengelig og noe utprøvd i Norge.
Økonomi	Investeringskostnad for en filterpresse vil være omtrent 2,5 mill. kr inkludert vinterisolert container, elektrisk anlegg, pumper og rør (Sørensen, 2024).

3.4 Tilbakeføring av betongslam til produksjonen

Gjenbruk av betongslamvann har vært rapportert tidligere. Takashi et al. (2013) utførte en studie på hvordan ferdigbetongprodusentene håndterte betongslammet i Toyama Prefecture i Japan med en produksjon på rundt 1,3 mil. m³ betong fordelt på 45 betongstasjoner. Studien rapporterte at 2 betongstasjoner behandlet slammet i et lukket system (tilbakeføring som suspensjon) og at 9 betongstasjoner benyttet vann etter behandling som blandevann i produksjonen. En prinsippskisse for å tilbakeføre alt betongslam til produksjonen er vist i Figur 6 og en vurdering gis i Tabell 8.

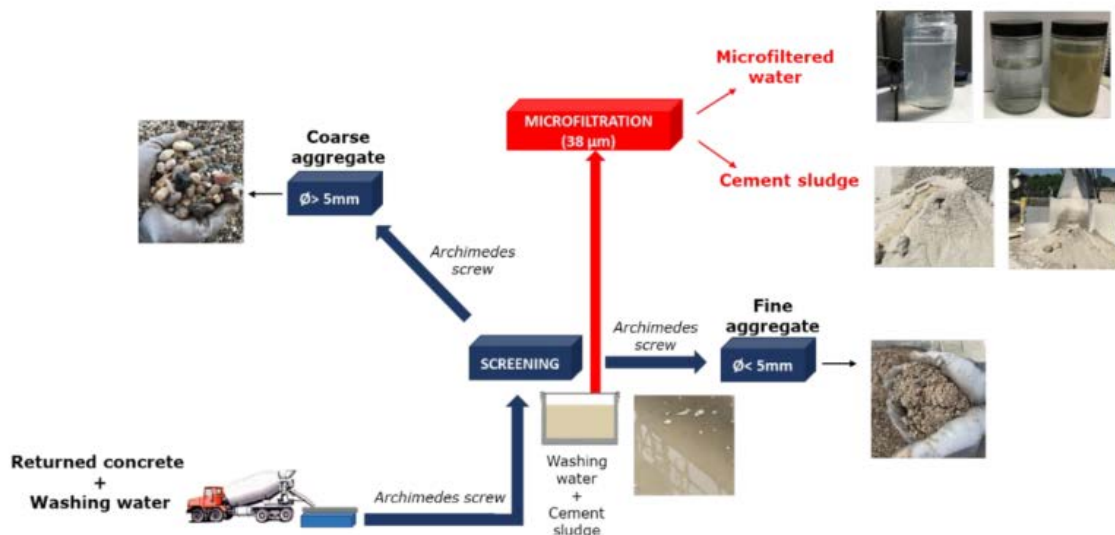


Figur 6 Prinsippskisse for å tilbakeføre alt betongslam til betongproduksjonen med innspill fra Sande (2024).

Tabell 8 Vurdering av behandlingsløsning med 100 % tilbakeføring i betongproduksjon

Parameter	Vurdering
Miljørisiko	Påvirkning på resipient fra prosessvann og betongslam er i stor grad fraværende i en lukket prosess.
Kvalitet på produkt	Selv om noen studier har påvist innvirkning på betonegenskapene, konkluderes det med at <u>kontrollert</u> rensert prosessvann brukt som blandevann, ikke endrer kvaliteten på betongen.
Robusthet mht. volumtopper	Løsningen er i prinsippet mer sensitiv for svingninger i produksjonsvolumet enn løsninger med filterpresse og sedimenteringsbasseng.
Tilgjengelighet for løsningen	Løsningen er tilgjengelig men foreløpig lite utprøvd i Norge.
Økonomi	I tillegg til vasketrommel, kommer kostnader til isolerte containere med isolert topp til slam og retur vann med pumper og omrørere (Sørensen, 2024).

Diotti et al. (2022) beskriver også en kombinert løsning som benytter vasketrommel og mikrofiltrering (porestørrelse <math>< 38 \mu\text{m}</math>). Studien som er utført på et renseanlegg i fullskala på betongstasjon i Italia, dokumenterer egenskapene til grovt og fint tilslag (GVT), blandevann som er mikrofiltrert og betongslam anvendt som filler (erstatning av finstoff i fint naturlig tilslag). Egenskapene til GVT og mikrofiltrert blandevann oppfylte kravene i henholdsvis EN 12620 og EN 1008. Resultatene fra betongprøving viste i praksis ingen påvirkning på fasthetsutviklingen ved 50 % innblanding av GVT. Det ble målt noe økt avbindingstid som følge av det mikrofiltrerte blandevannet.



Figur 7 Kombinert løsning for behandling av betongslam med CONSEP® 5000 Concrete Reclaimers fra WAMGROUP (Italia) (Diotti et al., 2022).

3.5 Beregninger av tilførte stoffer til ny betong

Når prosessvann brukes som blandevann til ny betongproduksjon, tilføres betongen kjemiske stoffer fra både vandig fase og fast stoff (suspendert stoff). NS-EN 1008 stiller krav til hva blandevannet skal inneholde angitt i Tabell 4. Når betongslamvann brukes som blandevann, er kravet at det maksimalt kan tilføres 1 % suspendert stoff (SS) som vektprosent av total tilslagsmengde. Densiteten på vannet kan derfor beregnes og fungere som en styrende parameter. Tilføres 95 g fast stoff med en partikkeldensitet på 2,1 kg/l, vil det gi en suspensjon (SS + blandevann) med densitet på 1,05 kg/l.

For å se på effekten av tilførte stoffer både gjennom SS og den vandige fasen i prosessvannet, er det utført beregninger med 1% SS innhold og at det kun benyttes prosessvann i produksjonen. I tillegg inneholder den vandige fasen de øvre grenseverdiene for $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$, Cl^- og SO_4^{2-} i NS-EN 1008 (verste tilfelle). Resultatene er gitt i Tabell 9 og viser at tilførselen gjennom finstoffet ikke vil påvirke betongen mht. alkalier, klorider og sulfater. Stoffene tilføres i større grad gjennom den vandige fasen og vil sannsynligvis ikke utgjøre nevneverdig risiko dersom prosessvannet ikke har gått i sirkulasjon for lenge. Beregningene er også konservative.

I beregningene for Cr(VI) er det forutsatt en konsentrasjon i prosessvannet på 0,25 mg/l som er de høyeste verdiene fra egne målinger i SINTEF. Stoffene er vannløselige i forskjellig grad og tilført mengde fra vandig fase vil være avhengig av omrøringstid og mengde finstoff i omrøringstanken.

Tabell 9 Beregnet tilførsel av kjemiske stoffer ved gjenbruk av slamvann i betongproduksjon. Beregningene er utført ved tilførsel gjennom suspendert stoff (SS) og gjennom vannfasen i slamvannet.

Parameter	Na ₂ O _{ekv}	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Cr(VI)
Maksimal mengde i sement (%)^a	1,20	0,10	4,80	0,0002
Tilgjengelig mengde (%)	80	90	50	100
Maksimalt tillatt tilførsel av SS til ny betong (%) ^b	1,0	1,0	1,0	1,0
Sementandel i SS (%)	75	75	75	75
Maksimalt tillatt innhold i blandevann (mg/l)^c	1500	1000	2000	0,25
Tilslagsmengde ny betong (kg/m ³)	1850	1850	1850	1850
Sementmengde ny betong (kg/m ³)	350	350	350	350
Vannmengde ny betong (l/m ³)	193	193	193	193
Tilførsel til ny betong fra SS (% av sementvekt)	0,038	0,004	0,10	0,08
Tilførsel til ny betong fra blandevann (% av sementvekt)	0,083	0,055	0,11	0,14 ^d

^aSO₄²⁻ = 4,80 %, maksimalt innhold av SO₃ i dagens sementer på 4,0 %; Cr(VI) = 0,0002 %, sementen er kromatredusert og tilgjengelig Cr(VI) er 2 mg per kg sement

^bIht. NS-EN 1008, maksimalt 1,0 % av total tilslagsmengde

^cCr(VI) = 0,25 mg/l, høyeste måling utført av SINTEF i betongslamvann

^dCr(VI) konsentrasjon i mg/l

3.6 Vannbehandling

Det er løsninger på vei inn på markedet for pH-stabilisering av avløpsvannet som en del av rensetrinnene. Mapei planlegger i løpet av 2024 å lansere produktene Re-con pH 1000 og Re-con pH 2000. Re-con pH 1000 har en pH-stabiliserende effekt. Re-con pH 2000 tilsettes til vannet for å redusere seksverdig krom og ha en flokkulerende effekt, og kan i tillegg ha en pH-reduserende effekt ved store doseringer. Det er først og fremst sett på effekten på avløpsvannet og ikke på om Re-con pH 2000 også har en reduserende effekt på seksverdig krom i betongslammet (Beck, 2024).

Det finnes også løsninger på markedet for pH-regulering av avløpsvannet med CO₂ (Digital Analysis Corp, 2019).

4 Andre gjenbruksalternativer for betongslam

4.1 Resirkulering ved normal herdning

Returbetongen som ikke benyttes av kunden kan benyttes til støping av betongklosser til støttemurer og lignende (Fabeko, 2018). Dette gir salgbare produkter og enkeltklosser selges for 1500 kr/stk (Unicon, 2024).

En annen metode som kan benyttes når man har litt returbetong og slam i trommelen er å tømme returbetongen på et egnet sted for mellomlagring og herdning på betongstasjonen. Betongen grovknuses etter herdning, før den mates gjennom et knuseverk og siktes til gjenvunnet knust tilslag (GKT). Denne metoden krever lite nytt utstyr, men forutsetter tilgang på knuseutstyr og sikter for å sortere i ulike størrelsesfraksjoner. Ulemper med denne metoden er at kvaliteten av tilslaget kan variere ettersom herdebetingelser varierer.

Tabell 10 Vurdering av behandlingsløsning ved normal herding

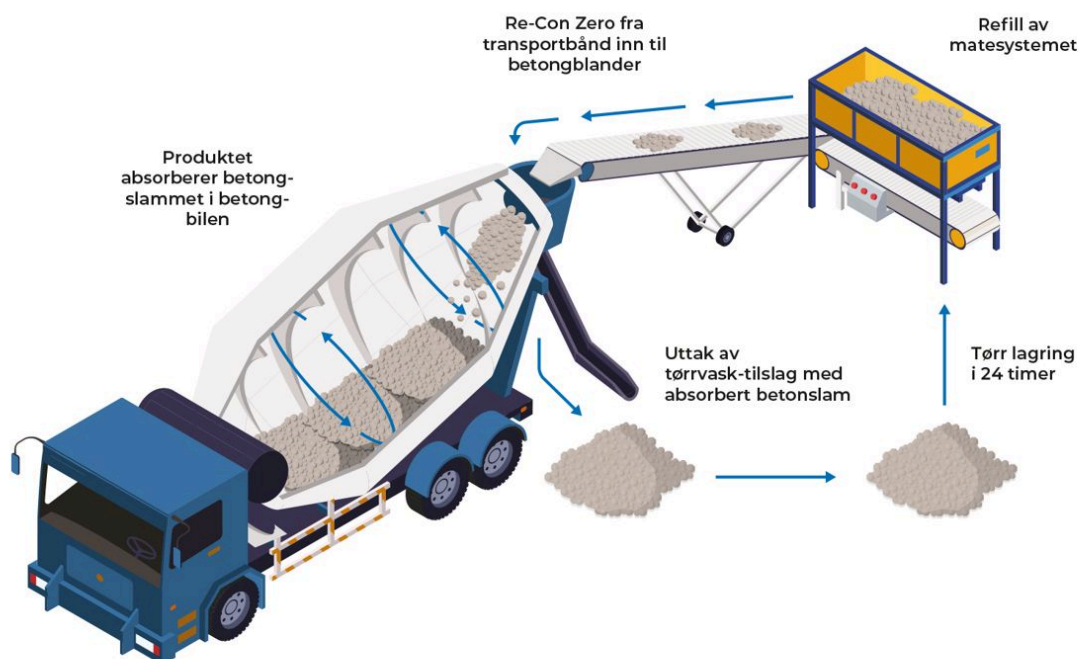
Parameter	Vurdering
Miljørisiko	Hvis man mellomlagrer betongen et sted uten tak og uten tett dekke under vil man kunne risikere avrenning fra betong til resipient. I de aller fleste tilfeller vurderes påvirkningen på resipient som mindre enn ved mellomlagring av kun betongslam.
Kvalitet på produkt	Betongklossene som produseres kan ha noen variasjoner i kvalitet og utseende, men vil være tilstrekkelig gode for formålene de brukes til. For knust herdet betongslam vil kvaliteten av produktet være avhengig av hvor mye vann som er tilsatt og opprinnelig betongkvalitet og dette kan variere betydelig.
Volumstabilitet	Dette er robuste løsninger som tåler store variasjoner i volum.
Tilgjengelighet for løsningen	De fleste betongstasjoner har i dag former for støping av blokker med returbetong tilgjengelig og dette er en godt utprøvd løsning med lang fartstid.
Økonomi	Klosser til støttemurer er et salgbart produkt som kan selges for ca. 1500 kr per stk (Unicon, 2024).

4.2 Resirkulert tilslag ved tørrvasketeknologi

En metode for å redusere mengden betongslam fra betongproduksjonen, er tørrvask ved bruk av tørrvasketilslag produsert av returbetong. Løsningen benytter en superabsorberende polymer og herder for å lage kuler av returbetong, som man lar herde i 48 timer, før disse benyttes til å tørrvaske betongbilene som kommer inn med betongslam uten returbetong. Tørrvaskeprosessen gjøres ved å mate inn 2-3 tonn med tørrvasketilslag som skal tromles frem og tilbake i trommelen. Denne mates ut i en bunge med tak og herder i 24 timer før den kan brukes om igjen. Hvor mange ganger det samme tilslaget kan brukes, avhenger av flere faktorer, inkludert mengden slam i hver betongbil. Det samme tørrvasketilslaget kan normalt gjenbrukes 10-20 ganger før overflaten er så mettet at den ikke lenger vil kunne ta opp slam effektivt fra betongbilen.

Fordelene med denne metoden er at det gir en reduksjon i forbruk av vann til vasking, redusert mengde slam i sedimenteringsbasseng. I tillegg til dette får man produsert resirkulert tilslag med CO₂-absorberende egenskaper (Rønning et al., 2024). Mettet tørrvasktilslag er utprøvd i bærelag på vei (Fv 3936 Finnsland) og som erstatning av naturlig tilslag i betongklosser (Sydsten, Halmstad). Tørrvasktilslaget har også vært utprøvd i produksjonen av resirkulerte gravemasser (Solomon et al., 2023).

For å kunne mate inn 2-3 tonn med tørrvasktilslag i betongbilen trengs det en materomme og en transportør. En skisse som viser tørrvaskeprosessen er vist i Figur 8.



Figur 8 Skisse som beskriver tørrvasking av betongbil med slam (Norman, 2024a).

Tabell 11 Vurdering av behandlingsløsning ved tørrvasking

Parameter	Vurdering
Miljørisiko	Teknologien kan redusere betongslammengden med over 80 % og vil og reduserer påvirkningen på resipient. Tørrvasktilslaget lagres under tak slik at ingen avrenning skal forekomme.
Kvalitet på produkt	Mettet tørrvasktilslag har vært benyttet i bærelag på vei og som erstatning av naturlig tilslag i betongprodukter.
Volumstabilitet/tilgjengelighet	Kapasiteten er oppgitt til være omtrent 20 biler per time ved enkel mater med silokapasitet på tørrvasktilslaget på 15 tonn (5 biler) (Norman, 2024b)
Driftsøkonomi	Investeringskostnadene for å starte opp med tørrvasking vil være ca. 400 000 NOK for materlomme og transportør og ca. 400 000 NOK for å etablere binger for oppbevaring av tørrvasketilslag under tak.

4.3 Separasjon av tilslag for å bruke sementpasta som bindemiddel

Sementpastaen i betongslam er i utgangspunktet kun reaktiv dersom den inneholder sementkorn som ikke er hydratisert. I tillegg vil det være en betydelig andel fint tilslag og finstoff som ikke er kjemisk reaktivt og som da ikke kan erstatte sement. Det betyr at skal betongslam vurderes som del av et bindemiddel må tilslagsandelen separeres bort slik at pastaandelen blir så høy som mulig. Dette kan gjøres fra slamfase (sikting, filtrering etc.) eller i herdet tilstand med forskjellige knuseteknologier.

En måte å øke reaktiviteten på er å karbonatisere hydratisert sementpasta. Da brytes sementgelen ned til bl. annet amorf silika som vil reagere med $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Karbonatisering av sementpastaen vil derfor øke den pozzolanske reaktiviteten (Zajac et al., 2023; Zajac et al., 2023). Det er imidlertid viktig med både god separasjon og karbonatisering (Engelsen, 2024).

4.4 Jordforbedring

Bruk av betongslam som jordforbedrer i jordbruket er regulert av Gjødselevarsforskriften (Forskrift om gjødselevarer mv. av organisk opphav) og vedlegg 8 i Forskrift om handel med gjødsele og kalkingsmidler hvis det skal omsettes som kalkingsmiddel. Kvalitetsklassen bestemmes av produktets tungmetallinnhold (Mattilsynet, 2023). Grensene for tungmetallinnhold er gitt i Tabell 12 sammen med typiske verdier målt i betongslam. Tidligere undersøkelser av tungmetallinnhold i betongslam utført av SINTEF, indikerer at det kan være mulig å produsere produkter som kan falle inn under kvalitetsklasse 0 og I med betongslam. Men det vil være viktig med et kvalitetskontrollsystem for å fange opp om innholdet av enkelte tungmetaller blir for høyt. Det er verdt å merke seg at en revisjon av Gjødselevarsforskriften pågår og at i forslag til ny revisjon er det foreslått at betongslam vil måtte godkjennes som ny råvare før det kan tas i bruk som gjødselevarer eller ingrediens i gjødselevarer (Mattilsynet, 2023, Mattilsynet, 2024). I det nytt revidert forslag er det også tatt inn et krav til kvalitet som går på lagrings-, sprednings- og bruksegenskaper. Samtidig poengteres det at jordforbedringsmedier skal oppfylle en funksjon. Hvis forslaget til ny forskrift blir tatt inn vil det også inngå grenseverdier for arsen (As).

Tillatelsesordningen som foreslås tatt inn i Gjødselevarsforskriften vil stille krav til tillatelse for bruk av blant annet betongslam som råvare inn i jordforbedringsprodukter. Dette vil innebære et gebyr på 14 000 NOK og krav til dokumentasjon av nytteeffekt og risikovurderinger (Mattilsynet, 2024).

I EU ble det vedtatt en ny Gjødseleforordning i 2019 (REGULATION (EU) 2019/1009). I denne forordningen er det satt grenseverdier for seksverdig krom og uorganisk arsen i tillegg til tungmetallene gitt i Gjødselevarsforskriften. Gjødseleforordningen setter en grense for seksverdig krom på maks 2 mg/kg i uorganisk jordforbedrer og uorganisk arsen på 40 mg/kg.

Tabell 12 Maksimumsgrenser for tillatt innhold av tungmetaller angitt i mg/kg tørrstoff (totalinnhold) (Gjødselveforskriften, 2003, REGULATION (EU) 2019/1009)

Kvalitetsklasser:	0	I	II	III	Uorganisk jordforbedrer (EU) 2019/1009	Verdier målt i betongslam ^a
	mg/kg tørrstoff					
Kadmium (Cd)	0,4	0,8	2	5	1,5	0,05-0,5
Bly (Pb)	40	60	80	200	120	3-20
Kvikksølv (Hg)	0,2	0,6	3	5	1	0,01-0,2
Nikkel (Ni)	20	30	50	80	100	3-19
Sink (Zn)	150	400	800	1500	800	15-102
Kobber (Cu)	50	150	650	1000	300	5,3-152
Krom (tot) (Cr)	50	60	100	150	-	3,6-65
Krom (Cr(VI))	-	-	-	-	2	0,3-25
Arsen (As)	-	-	-	-	40	0,5-3,9

^a SINTEF data

Jord som skal tilføres produkter som klassifiseres som klasse I og II som angitt i Tabell 12 må ikke ha innhold av tungmetaller som overstiger verdiene i Tabell 13. De ulike kvalitetsklassene har ulike bruksområder, disse er beskrevet i Tabell 14.

Tabell 13: Kvalitetskrav til jord som skal tilføres produkter som faller inn under kvalitetsklasse I og II (Gjødselveforskriften, 2003)

Tungmetaller	Maksimalt innhold i dyrka jord (mg/kg tørrstoff)
Kadmium (Cd)	1
Bly (Pb)	50
Kvikksølv (Hg)	1
Nikkel (Ni)	30
Sink (Zn)	150
Kobber (Cu)	50
Krom (Cr)	100

Tabell 14 Bruksområder for kvalitetsklassene (Gjødselvereforskriften, 2003)

Kvalitetsklasse	Bruksområder
0	Kan brukes på jordbruksarealer, private hager, parker, grøntarealer og lignende uten andre restriksjoner enn at tilført mengde ikke må ikke overstige plantenes behov for næringsstoffer.
I	Kan brukes på jordbruksarealer, i private hager og i parker kan produktet brukes med inntil fire tonn tørrstoff per dekar i løpet av en tiårsperiode.
	På grøntarealer og lignende der det ikke skal dyrkes mat eller fôrvekster kan produktet legges ut i lag på maksimalt fem centimeters tykkelse og blandes inn i jorda på bruksstedet.
II	Kan brukes på jordbruksarealer, i private hager og i parker kan produktet brukes med inntil to tonn tørrstoff per dekar i løpet av en tiårsperiode.
	På grøntarealer og lignende der det ikke skal dyrkes mat eller fôrvekster kan produktet legges ut i lag på maksimalt fem centimeters tykkelse og blandes inn i jorda på bruksstedet.
III	På grøntarealer og lignende der det ikke skal dyrkes mat eller fôrvekster kan produktet legges ut i lag på maksimalt fem centimeters tykkelse og blandes inn i jorda på bruksstedet.
	Som toppdekke på avfallsfyllinger, da som et dekskjikt på maksimalt 15 centimeter.

Tabell 15: Vurdering av bruk av betongslam som jordforbedrer

Parameter	Vurdering
Miljørisiko	Det er viktig å overvåke innholdet av spesielt krom, nikkel og kobber i betongslam som skal benyttes som jordforbedrer.
Kvalitet på produkt	Å utnytte betongslam som jordforbedringsprodukt vil ikke påvirke selve betongproduktet som produseres. Additiver og betongsammensetning vil kunne påvirke jordforbedringsproduktet noe.
Robusthet mht. volumtopper	Gitt at man har god lagringskapasitet vil metoden være robust med tanke på volumtopper. Etterspørselen etter betongslam som jordforbedrer vil svinge gjennom året og vil være avhengig av behov i jordbruket.
Økonomi	<p>Å benytte betongslam som jordforbedrer vil ikke medføre vesentlig økte driftskostnader for betongprodusentene, men det bør iverksettes et kvalitetskontrollsystem og kjemiske analyser for å kontrollere kvalitetsklassen og at kravene overholdes. Gevinsten vil være at man kan omsette betongslam som produkt og dermed reduserer deponikostnadene.</p> <p>Hvis forslag til ny Gjødselvereforskrift vedtas vil det også være en engangskostnad knyttet til å få tillatelse for å benytte betongslam som råvare. Dette vil være ca. 14 000 NOK for behandling hos mattilsynet og kostnader knyttet til å dokumentere tilstrekkelig nytte og tilstrekkelig lav risiko forbundet med bruk av betongslam.</p>

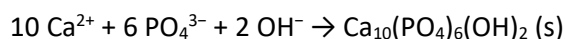
4.5 Utvalg av andre teknologier og løsninger

Jordstabilisering

Det har i de siste årene vært gjort studier på om betongslam kan være et egnet produkt til bruk i jordstabilisering (Reiterman et al., 2022, Zhang, and Fujiwara, 2007). Disse studiene viser lovende egenskaper for betongslam sammenlignet med kalk og portlandsement som er vanlig å benytte til jordstabilisering i dag. En vesentlig fordel ved å benytte betongslam vil være redusert klimagassutslipp. Økt forståelse om utlekking og langtidseffektene ved å benytte betongslam istedenfor tradisjonelle jordstabiliseringsforbindelser behøves.

Vannbehandling for å ta opp fosfor fra avløpsvann

Studier har blitt gjort de siste årene for å undersøke om finstoff fra knust betong og betongslam kan benyttes som et material for å ta opp fosfor fra fosforholdig avløpsvann (Iizuka et al., 2012, Liu et al., 2020 og Okano et al., 2016). Metoden beskrevet av Iizuka et al. baserer seg på at fosfor i avløpsvannet og oppløst kalsiumhydroksid fra betongslammet reagerer og feller ut som hydroksylapatitt (HAP) etter følgende reaksjonsmekanisme:



Metoden beskrevet av Okano et al. baserer seg på å behandle betongslam med 1.3 M HCl for å løse opp Ca^{2+} i væsken før suspensjonen tilsettes avløpsvannet. Denne studien viste økt fjerning av fosfor ved bruk av syrebehandlet betongslam og at mer av fosfatforbindelsene var tilgjengelig som sitratløselig P_2O_5 enn ved bruk av ubehandlet betongslam.

Studiene indikerer at betongslam kan være egnet for å ta opp fosfor fra avløpsvann og gjøre det tilgjengelig for resirkulering som komponent inn i gjødsel. Dette er et bruksområde som vil kunne redusere uttak av mineralske fosforholdige kilder til bruk i NPK-gjødsel (nitrogen fosfor kalium gjødsel). Det er et fortsatt behov for studier som ser på hvordan opptakseffekten av fosfor fra slike forbindelser vil være i jordbruket. Og et behov for industriskala testing av hvordan man praktisk kan binde opp fosfor fra avløpsanlegg ved bruk av betongslam og utnytte dette videre i jordforbedring.

Granulering med andre avfallstrømmer

CO_2 -bindingspotensialet til betongslam har vært fokus for flere studier de siste årene (Liu et al., 2024). Som en del av dette har man også sett på om man kan nyttiggjøre seg av betongslam sammen med andre avfallsstrømmer slik som pulveriserte østersskjell og bunnaske fra energigjenvinningsanlegg (Liu et al., 2024). Studien fra 2024 er på laboratorieskala, men viser at å lage slike syntetiske lettvektstilslag er teknisk mulig.

5 Behov for ny kunnskap

Gjenbruk av prosessvann til blandevann

Dersom prosessvann skal utnyttes som blandevann er det viktig at suspendert materialet holdes under angitt grense i NS-EN 1008 (totalt 1 % av tilslagsmengden) og at den er stabil. Effekten av tilført mengde finstoff og kjemiske stoffer kan likevel ha innvirkning på ferskbetongegenskaper, styrkeutvikling og bestandighet innenfor handlingsrommet til NS-EN 1008. Det er behov for systematiske undersøkelser på hvordan type og mengde finstoff i blandevannet innvirker på betongen. Dette for å avdekke hvor stor variasjon som kan tillates ved høy og lav dosering, hvor lenge prosessvann kan gå i sirkulasjon og hvilke typer betongslam (basert på reseptene) som er egnet til og doseres høyt.

Gjenbruk av filterkake

Generelt har filterkaker fra filterpresser (flakete klumper) en slags "fast og leiraktig" konsistens. Dette er tilfelle for filterkaker fra f.eks. vaskede gravemasser, bauksitt residu fra aluminaproduksjon og betongslam. Partikkelstørrelsen er mindre enn 100 µm og gjenbruksalternativene kan i utgangspunktet være flere. Dette kan være som jordforbedringsmiddel, til forskjellige utfyllingsformål, som filler/aktivt materiale i ny betong eller som råmaterialet i sementklinkerproduksjon.

Flere av de nevnte gjenbruksalternativene vil kreve at filterkaken omgjøres til en mer pulveraktig tilstand. En dispergering vil være nødvendig dersom filterkaken f.eks. skal benyttes som filler i betong. Det er derfor behov for undersøkelser om hvordan filterkakens konsistens kan gjøres mer egnet til gjenbruksformålene. Dette inkluderer både hva som kan utføres med mekanisk behandling og eventuell tilsetning av kjemiske stoffer som endrer konsistensen.

Det er også behov for flere undersøkelser på hvordan kjemisk innhold i filterkaken varierer. Dette gjelder ikke bare helse- og miljøfarlige stoffer men også innhold av alkalier, klorid og sementpasta. Det vil være hensiktsmessig å bestemme kjemisk sammensetning i vannfasen og i det faste materialet noe som kan være viktig for å avdekke i hvor stor grad prosessen kan påvirkes. Dette vil gjøre det enklere å vurdere både miljøegnethet og egnethet til f.eks. sement- og betongproduksjon.

Tørrvasketeknologi

Under tørrvasking av betongtrommel, både suges og adsorberes betongslam til tørrvasktilslaget. Det er ønskelig at effektiviteten er høyest mulig. Ved å modifisere de vannabsorberende tilsetningsstoffene som benyttes til å lage tørrvasktilslaget, kan vannoppsugingsevnen sannsynligvis økes.

Det vil også være hensiktsmessig å utvikle enkle system (IT løsninger) som kan kommunisere med materlommen og med blandeverk. Dette vil forenkle aktivitetene for sjåføren ved at prosessen kan styres av blandeoperatør og sjåføren kan bli værende i bilen under selve tørrvasken. Dette legger også til rette for at mettet tørrvasktilslag kan styres inn til blandeverket som delvis erstatning av naturlig tilslag.

Det vil være behov for betongstasjoner for piloter av foreslåtte aktiviteter. I disse pilotene bør også påvirkningen av vinterforhold verifiseres. Det vil si hvordan prosessen fungerer kjemisk, fysisk og praktisk, og hvilke endringer som kan forbedre gjennomføringen av tørrvask.

Jordforbedring

Hvis forslaget til ny Gjødselfareforskrift vedtas vil det innebære en tillatelsesordning som vil føre til at produsenter som benytter råvarer som ikke står på positivtetslisten som jordforbedringsmateriale vil måtte søke om tillatelse for bruk (Mattilsynet, 2024). Dette innebærer blant annet betongslam, som er nevnt spesifikt i høringsbrevet fra Mattilsynet om ny gjødselfareforskrift. Da må betongprodusenter som ønsker å benytte betongslam som råvare inn i jordforbedring søke om tillatelse hos Mattilsynet og dokumentere tilstrekkelig nytteverdi og vurdering av risiko. Dette kan innebære ytterligere behov for systematiske undersøkelser av nytteverdien og risikoen ved å bruke betongslam som jordforbedrer.

Rensemiddel og uttak av fosfor

Dersom betongslam skal benyttes som resemiddel for avløpsvann vil det kreve en grad av forbehandling. Ytterligere undersøkelser av hvor mye forbehandling som behøves og hvor mye forbehandling som er økonomisk levedyktig vil være nødvendig. For at betongslam skal være egnet som et resemiddel for avløpsvann vil det være viktig at man får nyttiggjort fosforet som er fjernet fra avløpsvannet inn mot jordbruket. Dette vil kreve systematiske undersøkelser av hvilke fosforforbindelser som felles ut og andel tungmetaller i endelig produkt. Man må også legge opp prosessen på en slik måte at man kan hente ut de utfelte forbindelsene uten å stoppe hele vannrensprosessen. I tillegg må man gjøre undersøkelser av hvordan man kan få nyttiggjort fosforforbindelsene som feller ut inn mot jordbruket.

6 Konklusjon

Denne rapporten oppsummerer hvilke tilgjengelige løsninger som kan benyttes til behandling og gjenvinning av betongslam. Rapporten er utført på oppdrag fra Betongklyngen CIC. Det stilles i dag konkrete krav med grenseverdier til prosessvann som skal benyttes som betongblandevann, prosessvann som skal slippes til resipient og betongslam som skal resirkuleres. Nye utslippskrav vil kreve strengere kontroll og styring på behandling av betongslam og prosessvann.

Sammenstillingen viser at det finnes flere løsninger for slambehandling og gjenvinning. Dette inkluderer både tradisjonelle sedimenteringsanlegg og løsninger som tar i bruk vasketrommel og filterpresse. I tillegg er det tilgjengelige løsninger for full resirkulering av prosessvann og slam, samt løsninger basert på helt andre teknologiprinsipper som tørrvask. Hver enkelt separat løsning eller i kombinasjon må tilpasses lokale fabrikkforhold som resipient følsomhet, avstand til deponi, tilgjengelig plass, produksjonsvolum, ny fabrikk eller tilpasning av eksisterende. Løsningene som er tilgjengelig vil kunne redusere betongslam med minst 80 %. Gjenvinning av alt prosessvann vil være mer krevende for små produsenter.

Gjennomførte beregninger viser at tilbakeføring av prosessvann med suspendert materiale som er iht. NS-EN 1008, mest sannsynlig ikke vil innvirke på produksjonen av betong. Dette er helt avhengig av god kontroll på tilbakeført vann og mengden suspendert materialet, samt kjemisk sammensetning i vannfasen og i det faste slammaterialet. En systematisk undersøkelse på hvordan en variasjon påvirker betongens egenskaper, vurderes derfor til å være nødvendig. Det er også behov for flere undersøkelser på hvordan kjemisk innhold i filterkaken varierer for å se på effekten av vannløselige kjemiske stoffer. Dette gir økt forståelse av mengden stoff i sirkulasjon og vil avdekke eventuelle forhøyede konsentrasjoner i prosessvann eller slam. Dette bidrar også til å identifisere egnede gjenbruksalternativer som f.eks. jordforbedrer, vannbehandlingsmedium, jordstabilisering eller råmateriale i sementklinkerproduksjon.

7 Referanser

Adomako, S., Engelsen, C. J., Døssland, L. T., Danner, T., & Thorstensen, R. T. (2023). Technical and environmental properties of recycled aggregates produced from concrete sludge and excavation materials. *Case Studies in Construction Materials*, 19. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02498>.

Avfallsforskriften (2020), Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften) Kapittel 14A. Betong og tegl fra riveprosjekter.

Betongfokus (2023), Betongfokus - Resirkuleringsanlegg på betongfabrikk – Veileder, <https://www.resirkulering.betongfokus.no/>.

Beck, T. (2024), personlig kommunikasjon, 05.03.2024.

de Lange, A., Hallingby, E.M., Must Evensen, K.M., Resirkulerte gravemasser i betongbelegningsstein, MSc oppgave Universitetet i Agder Fakultet for teknologi og realfag, 2017.

Digital Analysis Corp. (2019) <https://www.phadjustment.com/pH/hydroTREAT.html>

Diotti, A., Cominoli, L., Plizzari, G., Sorlini, S., Experimental Evaluation of Recycled Aggregates, Washing Water and Cement Sludge Recovered from Returned Concrete, *Appl. Sci.* 2022, 12, 36. <https://doi.org/10.3390/app12010036>.

Engelsen, C.J., Evaluate the potential for using carbonated Indian C&D waste fines as Supplementary Cementitious Material (SCM). Presented at: 13th IconSWM-CE & IPLA Global Forum 2023, Mumbai 30/11-2023.

Fabeko (2018), Disponering og gjenbruk av returbetong og betongslam, <https://fabeko.no/download/disponering-og-gjenbruk-av-returbetong-og-betongslam/> (besøkt 03.03.2024).

Forskrift om handel med gjødsel og kalkingsmidler mv. (2003).

Forurensningsforskriften (2022), Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften). Kapittel 33. Forurensning fra produksjon av fabrikkbetong, betongvarer og betongelementer.

Gjødselvereforskriften (2003), Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav.

Iizuka, A., Sasaki, T., Hongo, T., Honma, M., Hayakawa, Y., Yamasaki, A., Yanagisawa Y. (2012), Phosphorus Adsorbent Derived from Concrete Sludge (PAdeCS) and its Phosphorus Recovery Performance, *nd. Eng. Chem. Res.* 2012, 51, 34, 11266–11273, <https://doi.org/10.1021/ie301225g>.

Juliana Vieira Martins, Maria Teresa Paulino Aguilar, Dayana Cristina Silva Garcia, White José dos Santos, Management and characterization of concrete wastes from concrete batching plants in Belo Horizonte – Brazil, *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 20, 2022, Pages 1157-1171.

Liu, D., Zhu, H., Wu, K., Zhao, X., Wang, F., Liao, Q. (2020) Fines isolated from waste concrete as a new material for the treatment of phosphorus wastewater, Environmental Science and Pollution Research (2020) 27:12539–12549, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07850-0>.

Liu, J., Cheng, L., Jin, H. og Xing, F. (2024) Sustainable utilization of concrete slurry waste in eco-friendly artificial lightweight cold-bonded aggregates: An alternative pathway for efficiently sequestering CO₂, Construction and Building Materials 421 (2024), <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135759>.

Mattilsynet (2023) <https://www.mattilsynet.no/planter-og-dyrking/gjodsel-jord-og-dyrkingsmedier/bruk-av-betongslam-i-jordbruket>.

Mattilsynet (2024), Høring ny gjødselvereforskrift <https://www.mattilsynet.no/hoeringer?bld=2963>.

Norman, S.-H. (2024a), Byggeindustrien på nett, <https://www.bygg.no/annonsorinnhold/mapei/mapei-loser-utfordringen-med-betongslam/1543980/> (Publisert 12.01.2024).

Norman, S.-H. (2024b), Layoutforslag til tørrvask, kommunikasjon med Mapei gjennom e-post datert 12.03.2024.

Norsk Betongforenings miljøkomite (2016), Betong og Miljø, Mur+betong 03/16.

NS-EN 206:2013+A2:2021+NA:2022 (no), Betong - Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar

NS-EN 12620:2002+A1:2008+N A:2016, Tilslag for betong

Okano, K., Yamamoto, Y., Takano, H., Aketo, T., Honda, K., Ohtake H. (2016), A simple technology for phosphorus recovery using acid-treated concrete sludge, Separation and Purification Technology 165 (2016) 173–178 <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.03.054>.

Rønning A., Engelsen C.J., Norman S-H, Mooselu M.G., Døssland L.T., Thorstensen R.T., Beneficial use of recycled aggregates from concrete sludge using a new dry washing technology, In proceedings: World Sustainable Built Environment Conference (WSBE24) 12-14 juni 2024.

REGULATION (EU) 2019/1009 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj>.

Sande, T. (2024), Slambehandling, kommunikasjon med Nordland Betong gjennom e-post datert 18.01.2024.

Unicon (2024), UNI-BLOCK, https://www.unicon.no/produktertjenester/uniblock/?utm_term=betongkloss&utm_campaign=Spesialprodukter&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=4231571147&hsa_cam=9975795729&hsa_grp=102389510802&hsa_ad=647608465326&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd410200558221&hsa_kw=betongkloss&hsa_mt=b&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA3JCvBhA8EiwA4kujZnrSGyH2vCMyklidxd9pvhklmK6ecvLQrClbBNDjGHJxL0rycvIs5xoCb8UQAvD_BwE (besøkt 04.03.2024).

Zajac, M., Skocek, J., Durdzinski, P., Bullerjahn, F., Skibsted, J., & Ben Haha, M. (2020). Effect of carbonated cement paste on composite cement hydration and performance. CEMENT AND CONCRETE RESEARCH, 134. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106090>.

Zajac, M., Song, J., Skocek, J., Ben Haha, M., & Skibsted, J. (2023). Composite cements with aqueous and semi-dry carbonated recycled concrete pastes. CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, 407. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133362>.

Zhang, J and Fujiwara, T. (2007), Concrete Sludge Powder for Soil Stabilization, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2026, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2007, pp. 54–59. DOI: 10.3141/2026-07.