

Publikasjon nr. 18

Tilslagsmaterialer for betongformål

HØRINGSUTKAST

Forord

Denne utgaven av Norsk Betongforening Publikasjon nr. 18 «Tilslagsmaterialer for betongformål» avløser første utgave fra 1988. Publikasjonen gir oppdatert kunnskap om alle aspekter rundt tilslag til betong, fra geologiske ressurser, produksjon av tilslag, egenskaper i fersk og herdnet betong samt prøvingsmetoder og regelverk. Den inkluderer også resirkulert tilslag fra rivemasser, gjenvunnet tilslag fra gravemasser samt tilslag fra overskuddsmasser fra steinbrudd, anlegg og infrastrukturprosjekter.

Publikasjonen refererer til gjeldende standarder og regelverk, og spesielt tilslagsstandarden NS-EN 12620 + NA. Det må imidlertid nevnes at det foreligger en «draft-utgave» av ny europeisk standard for tilslag, prEN 17555 del 1 og 2. Dette dokumentet blir en felles standard for tilslag til betong, mørtel, asfalt, vegbygging og bygg- og anleggsarbeider. Det vil imidlertid kunne ta flere år før dette dokumentet foreligger som en endelig standard og blir tatt i bruk i Norge. Komiteen har funnet det mest riktig å forholde seg utelukkende til gjeldende tilslagsstandard, og heller legge opp til en revisjon når ny standard med nasjonalt tillegg foreligger.

Bruk av referanser i publikasjonen: Det er ikke lagt inn løpende referanser i teksten. Normative referanser i form av standarder, vegnormaler, forskrifter etc. er vektlagt. I tillegg er det referert til noen få sentrale lærebøker og vitenskapelige publikasjoner.

Komiteen har bestått av:

Bård M. Pedersen, Statens vegvesen, leder og redaktør
Svein Willy Danielsen, Geomaterials Consultants, redaktør
Rolands Cepuritis, NTNU
Tom I. Fredvik, Norcem, nå Heidelberg Materials Sement Norge
Paul Glamo, Feiring Bruk/Kontrollrådet
Viggo Jensen, NBTL/Vje Holding
Jan Karlsen, Kontrollrådet
Knut Li, Franzefoss/ NCC
Ingebrigt Lereim, Mapei
Alf Egil Mathisen, Veidekke
Martin Mengede, Franzefoss Minerals
Arnhild Ulvik, Statens vegvesen
Børge J. Wigum, Heidelberg Materials Northern Europe
Rune Hovland, Unicon/Swerock (til november 2022)

Følgende firmaer/foreninger har gitt økonomisk støtte slik at revisjonen kunne gjennomføres.

Norcem, nå Heidelberg Materials Sement Norge
Statens vegvesen
Mapei
Franzefoss Minerals
Norsk Betongforening

Innholdsfortegnelse

1 INNLEDNING	7
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Oppbygging av publikasjonen.....	8
1.3 Definisjoner.....	8
2 KRAV OG ANBEFALINGER TIL BETONGTILSLAG I NORGE	15
2.1 Kapitlets omfang	15
2.2 Europeisk og nasjonalt regelverk	15
2.2.1 Innledning.....	15
2.2.2 Krav iht. NS-EN 12620 + NA Tilslag for betong	15
2.2.3 NS-EN 206 + NA Betong – Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar	16
2.3 Dokumentasjon og produsentens ansvar.....	16
2.4 Krav til egenskaper og prøvingsmetoder for naturlig tilslag.....	17
2.4.1 Alkalireaksjon	23
2.4.2 Skjærkapasitet	24
2.5 Tilslag fra materialgjenvinning.....	24
2.5.1 Sirkulær økonomi og bærekraft	24
2.5.2 Overskuddsmasser	24
2.5.3 Resirkulert tilslag fra rivemasser.....	25
2.5.4 Gjenvunnet tilslag fra gravemasser	29
2.5.5 Gjenvunnet tilslag fra betongproduksjon	30
2.6 Import og eksport av betongtilslag	31
2.6.1 Generelt	31
2.6.2 Import av betongtilslag.....	31
2.6.3 Eksport av betongtilslag.....	31
3 GEOLOGISKE RESSURSER OG BESTANDIGHET	32
3.1 Innledning	32

3.2 Berggrunn	32
3.2.1 Bergartsområder og tilslagsegenskaper	32
3.2.2 Forekomsttyper og tilslagsegenskaper	35
3.2.3 Ressurssituasjonen for sand og grus.....	36
3.3 Bestandighet	39
3.3.1 Kritiske bergarter for bestandighet.....	39
3.3.2 Alkalireaksjon.....	39
3.3.3 Sulfatangrep.....	45
3.3.4 Fryse-tine nedbrytning	46
3.3.5 Aurhelle, humus og andre forurensninger	46
3.3.6 Klorider	47
3.3.7 Svelleleire.....	47
4 PRODUKSJON OG FOREDLING AV TILSLAG	48
4.1 Tilslag fra mineralske råstoffer	48
4.1.1 Produksjon av naturtilslag (naturesand og grus)	48
4.1.2 Produksjon av tilslag fra knust berg	50
4.1.3 Sprengning og uttak.....	52
4.1.4 Knuseprosesser	53
4.1.5 Sikting og sortering	54
4.1.6 Produksjon av tilslag med mobile anlegg	55
4.1.7 Massebalanse	56
4.1.8 Fillerproduksjon.....	56
4.2 Tilslag fra materialgjenvinning	56
4.2.1 Overskuddsmasser fra natursteinbrudd, anlegg og infrastrukturprosjekter.....	57
4.2.2 Resirkulert tilslag fra riveprosjekter	57
4.2.3 Gjenvunnet tilslag fra gravemasser	57
4.2.4 Gjenvunnet tilslag fra betongproduksjon	58
4.3 Håndtering, lagring og transport	58

4.3.1	Blandeanlegg og blanding av ulike bergarter	58
4.3.2	Silo	59
4.3.3	Lagerområde.....	59
4.3.4	Opplasting og transport.....	59
4.3.5	Produksjonskontroll.....	60
4.3.6	HMS	60
5	BRUKSEGENSKAPER I FERSK, HERDNEDE OG HERDET BETONG	62
5.1	Innledning	62
5.2	Proporsjonering av betong	62
5.3	Egenskaper i fersk og herdnende fase	63
5.3.1	Innledning.....	63
5.3.2	Støpelighet og korngemetri.....	64
5.3.3	Finstoff og mineralsammensetning	67
5.3.4	Slam i naturtilslag	69
5.3.5	Densitet	70
5.3.6	Absorbert vann.....	70
5.3.7	Fuktinnhold.....	70
5.3.8	Effekt av nyknust tilslag.....	70
5.3.9	Luftinnhold.....	70
5.3.10	Maskinsand	71
5.3.11	Avbinding og tidligfasthet	71
5.3.12	Svinn og riss i fersk og herdnende betong	72
5.4	Herdet betong	73
5.4.1	Trykkfasthet og E-modul	73
5.4.2	Tørrbetong	76
5.4.3	Langtidssvinn	76
5.4.4	Strekkfasthet	76
5.4.5	Slitasjemotstand.....	76
5.4.6	Temperatureffekter	77

5.4.7 Estetikk og farger	77
REFERANSER.....	78

HØRINGSUTKAST

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Tilslaget utgjør i størrelsesorden 70 % av betongens volum, og har stor betydning for betongens egenskaper i fersk, herdnende og herdet fase. Kunnskapen om betongtilslag er utpreget tverrfaglig. Optimal utnyttelse av betongtilslag fordrer kunnskap om geologi/ingeniørgeologi, oppredning og produksjon samt inngående kunnskap om betongteknologi.

Forrige (og første) versjon av NB 18 ble skrevet i 1988. Mye av kunnskapen fra forrige utgivelse er fortsatt gyldig. Men samtidig har det skjedd mye på flere fronter, her nevnes noe av det viktigste:

- Det har vært mer eller mindre kontinuerlig forskning på alkalireaksjoner siden slutten av 1980-tallet, og vi har fått etablert et velfungerende nasjonalt regelverk for å klassifisere bergarter mht. alkalireaktivitet.
- Kunnskapen om bruk av knuste materialer, og spesielt knust sand (maskinsand), har hatt en voldsom utvikling. Vi har i dag kunnskap for å produsere maskinsand med like gode egenskaper som den beste natursand.
- Det er etablert et felleseuropeisk regelverk for betong og tilslag. Det europeiske regelverket spesifiserer prøvingsmetoder og gir et system for klassifisering av egenskaper, men gir i liten grad krav til egenskaper. Alkalireaksjoner er et område hvor det fortsatt ikke er innført felleseuropeisk regelverk.
- Det har i de senere år vært økende fokus på sirkulærøkonomi, hvor målet er å unngå å lage avfall, og at alt som blir til overs skal gjenvinnes. Denne publikasjonen tar for seg utnyttelse av steinmaterialer fra infrastrukturprosjekter, gjenvunnet tilslag fra gravemasser samt resirkulert tilslag fra riveprosjekter.

Publikasjonen gir oppdatert kunnskap om alle aspekter rundt tilslag til betong, fra geologiske ressurser, produksjon av tilslag, egenskaper i fersk og herdnet betong samt prøvingsmetoder og regelverk.

Avgrensninger:

Publikasjonen omhandler ikke lettilslag. Denne tematikken er behandlet i Norsk betongforenings publikasjon nr. 22 «Lettbetong. Spesifikasjoner og produksjonsveiledning», og publikasjon nr. 23 «Lettbetong. Prosjekteringsveiledning».

Publikasjonen gir anbefalinger om bruk av resirkulert tilslag fra rivemasser, og spesielt anbefalinger om dokumentasjon av egenskaper i de tilfellene man går ut over det nasjonale regelverket om innblandingsgrad gitt av NS-EN 206 + NA. Men publikasjonen gir ikke veiledning om hvilken effekt resirkulert tilslag har på bruksegenskaper i fersk, herdnende og herdet betong.

Denne publikasjonen omhandler ikke klimagassutslipp, her henvises det til Norsk betongforenings publikasjon nr. 37 «Lavkarbonbetong».

1.2 Oppbygging av publikasjonen

Publikasjonen er bygget opp i følgende deler:

INNLEDNING: **Kapittel 1:** Bakgrunn, oppbygging og terminologi/definisjoner

DEL A: **SPESIFIKASJON**

Kapittel 2: Krav og anbefalinger til betongtilslag i Norge. Denne delen gir en oversikt over europeisk og nasjonalt regelverk, både mht. prøvingsmetoder og spesifikke krav. Kapitlet gir også anbefalinger om resirkulert tilslag fra riveprosjekter, gjenvunnet tilslag fra gravemasser og overskuddsmasser fra steinbrudd og infrastrukturprosjekter.

DEL B: **VEILEDNING**

Kapittel 3: Geologisk grunnlag og bestandighet. Kapitlet gir en oversikt over den faste berggrunnen og løsmasser, både når det gjelder egnethet i betong samt tilgjengelighet i ulike landsdeler. Den gir videre det teoretiske grunnlaget for hvordan tilslaget påvirker betongens bestandighet.

Kapittel 4: Produksjon og foredling. Kapitlet gir en oversikt over de viktigste aspektene rundt produksjon og foredling av tilslag fra løsmasser og knust berg.

Kapittel 5: Bruksegenskaper. Kapitlet gir en oversikt over hvilken effekt ulike egenskaper ved tilslaget har på egenskaper i betong, både i fersk, herdnende og herdet fase. Merk at bestandighetsaspektene er omtalt i kapittel 3 siden de er så tett koblet opp mot det geologiske utgangspunktet.

1.3 Definisjoner

Absorbent vann: Vannabsorpsjon er et mål på tilslagets porøsitet, og er prinsipielt forskjellen mellom ovnstørr tilstand og vannmettet overflatetørr tilstand. Skal ikke tas med ved beregning av masseforhold i betong.

Adsorpsjon: binding (av vann eller tilsetningsstoff) til tilslagets overflate.

Alkalireaktive bergarter: bergarter som er påvist å ha reagert og gitt ekspansjon i betongkonstruksjoner. De er vist i bergartslisten i Tabell 3-2. I henhold til regelverket gitt av NB 21 og NB 32 inngår også tvilstilfeller i beregningen av mulige alkalireaktive bergarter, som benevnes risikobergarter.

Alkalireaksjon: Kjemisk–fysisk reaksjon mellom alkali-ioner hovedsakelig fra sement, og silika-ioner fra tilslagsmaterialer i betongen. Alkalireaksjon kan inndeles i 3 undergrupper:

1. Hurtig-reagerende alkalireaksjon, hovedsakelig forårsaket av ikke-krystallin silika som f.eks. opalholdige bergarter (finnes ikke i Norge). Benevnes alkali-kiselreaksjon i Danmark og Sverige.

2. Langsamt-reagerende alkalireaksjon, hovedsakelig forårsaket av mikrokrySTALLIN kvarts fra silikatbergarter og sedimentære bergarter (finnes i Norge)
3. Alkali-karbonat reaksjon, hovedsakelig forårsaket av dolomittholdige sedimentære bergarter. Reksjonen er i dag internasjonalt omstridt.

Aurhelle: En form for forurensning som kan forekomme i topplaget av enkelte natursandforekomster. Vil kunne være en blanding av leire, jord, humus og jern/rustutfelling, og forekommer som klumper eller tynne lag.

Bergart: Naturlig dannet materiale bestående av ett eller flere mineraler. Bergarter deles inn etter dannelsesmåte i sedimentære, metamorfe og magmatiske bergarter.

Breelvmateriale: Sand/grus avsatt i forekomster som er dannet av smeltevann i forbindelse med avsmeltingen etter siste istid. Kalles også glasiofluviale materialer.

CE merking: CE-merkingen bekrefter at byggevaren er fremstilt og kontrollert i overensstemmelse med en harmonisert produktstandard eller et europeisk bedømmelsesdokument (ETA). I tillegg til CE-merking skal produsenten utarbeide en ytelseserklæring.

Dagbergart: Magmatisk finkrySTALLIN bergart dannet ved størkning av magma på jordoverflaten, som f.eks. ryolitt og basalt.

Dypbergart: Magmatisk grov krySTALLIN bergart dannet ved størkning av større magmamasser dypt nede i jordskorpen, som f.eks. granitt og gabbro.

Elvemateriale: Sand/grus avsatt ved elvers virksomhet. Kalles også fluviale materialer.

Filler: Handelsvare for bruk i betong eller andre byggematerialer, bestående av mineralske masser – ofte kalkstein, hvor mesteparten av partiklene passerer 0,063 mm sikten.

Finstoff og finstoffinnhold: Finstoff er materiale med kornstørrelse < 0,063 mm. Finstoffinnhold for en gitt handelsvare er vektandelen av partikler som passerer 0,063 mm-sikten, bestemt ved sikteanalysen NS-EN 933-1.

Fint tilslag: Tilslagsortering hvor d er lik 0 og D er mindre enn eller lik 4 mm. Se også tilslagsstørrelser.

Fint steintilslag: (definisjon fra NB 21): Tilslag der d (nedre nominelle kornstørrelse) er større enn eller lik 1 mm og D (øvre nominelle kornstørrelse) er større enn 4 mm men mindre enn eller lik 8 mm, samtidig som mengden materiale større enn 8 mm er mindre enn eller lik 15 vekt-%, for eksempel 2/8 mm og 4/8 mm.

Flisighetsindeks (FI): Et uttrykk for et materiales kornform, bestemt etter en prøvemethode NS-EN 933-3. Måles i standardisert metode på kornstørrelser ned til 4 mm, men metodikken kan også brukes på mindre kornstørrelser (avvik fra standard).

Forvitring: Gradvis nedbryting av materialer ved klimapåkjenninger og ved naturlige kjemiske og fysiske prosesser.

Fraksjon: Laboratoriebegrep, materialet mellom to nabosikter i en siktesats. Brukes også for betegnelse av produktstørrelser f.eks. fraksjonen 0/8 mm.

Frostbestandighet: Et materiales evne til å tåle gjentatte fryse-/tinesykluser.

Geometriske egenskaper: Kornform og gradering.

Gjenvunnet tilslag: Vasket og siktet restbetong og knust herdnet restbetong fra blandeverk, betongvare- og betongelementfabrikker, samt prosessert gravemasse og tilslag fra overskuddsmasser.

Glimmer: En gruppe silikatmineraler som lett lar seg spalte i tynne flak. Kan grovt inndeles i lys glimmer (muskovitt) og mørk glimmer (biotitt). Uheldig i betongtilslag grunnet økt vannbehov.

Gradering (korngradering): Grafisk fremstilling av den vektmessige sammensetning av et steinmateriale etter kornstørrelse. Andre betegnelser som brukes er konfordelingskurve eller siktekurve.

- Tett gradering: En gradering som gir et materiale med lav hulromsprosent.
- Åpen gradering er et materiale som gir høy hulromsprosent.

Gravemasser: Jord, leir, sand, grus og stein fra rene- og lettere forurensede gravemasser fra urbane- og industrielle byggegrunner lagret på midlertidige eller permanente deponier. **Prosesserte gravemasser:** Vasket og siktet gjenvunnet tilslag av fine- og grove tilslagsstørrelser fra gravemasser. Kan inneholde innblandet knust tilslag av prosessert gravemasse.

Grovt tilslag: Tilslag der D er større enn eller lik 4 mm, og d er større enn eller lik 2 mm. Se også tilslagsstørrelser.

Grus: geoteknisk/geologisk betegnelse på bergartsfragmenter med partikkelstørrelse mellom 2 og 64 mm.

Humus, humussyrer: Organiske stoffer med sur karakter som forekommer i naturgrus. Vil kunne ha retarderende effekt i betong.

Industrielt framstilt tilslag: Tilslag av mineralisk opprinnelse som er et resultat av en industriell prosess som medfører termisk eller annen modifikasjon. Kan f.eks. være luftavkjølt slagg fra produksjon av råjern. De fleste lettilslag (behandles ikke i denne publikasjonen) er industrielt framstilt.

Kismineraler: Sulfidmineraler der et metall er bundet til svovel. Noen av de vanligste kismineralene er svovelkis, magnetkis og kobberkis. Kan gi ekspanderende reaksjoner i betong, eller rustutfellinger.

Knust tilslag: Tilslag produsert ved sprengning, nedknusing og sortering av berg.

Korndensitet: Masse pr. volumenhet. Måles og deklarerer i henholdsvis vannmettet overflatetørr og ovenstørr tilstand.

Kornform: Visuell karakteristikk av partikkelform for et bergartsmateriale med beskrivelser som kubisk, stenglig og flisig. Overflaten betegnes glatt eller ru. I tillegg angis rundingsgrad som kantet, kantslitt, rundet og godt rundet.

Kornfordelingskurve: Grafisk fremstilling av den vektmessige sammensetning av et materiale etter kornstørrelse. Siktekurve eller gradering blir også brukt som betegnelse på kornfordelingskurve.

Los Angeles-verdi (LA-verdi): Uttrykk for et materiales motstandsevne mot nedknusing. Testen utføres på fraksjonen 10-14 mm. LA-verdien er prosentvist innhold av materiale < 1,6 mm etter tromling (500 omdreininger) med stålkuler.

Magmatiske bergarter: Bergarter som er dannet ved størkning og krystallisering av smeltet bergartsmasse (magma). Se også dagbergart og dypbergart.

Maskinsand: Foredlet knust sandtilslag, der man gjennom en mer avansert knuse- og sorteringsprosess har oppnådd en kubisk og rundet kornform, og samtidig har kontroll med finstoffinnholdet.

Masseforhold: forholdet mellom effektivt vanninnhold og effektiv bindemiddelmengde (på vektbasis) i betong.

Materialgjenvinning: Gjenvinning av masser der ulike materialer brukes som råvarer i produksjon av nye produkter.

Metamorfe bergarter: Opprinnelig magmatiske eller sedimentære bergarter som har fått sin oppbygning og/eller sitt mineralinnhold forandret ved at de har blitt utsatt for høyt trykk og/eller temperatur.

Mineral: Naturlig forekommende grunnstoffer og kjemiske forbindelser som har karakteristiske fysiske egenskaper. Bergarter består av mineraler.

Morene: Naturlig forekommende materiale som er transportert og avsatt direkte av en bre. I morene er gjerne alle kornstørrelser til stede fra leir til blokk.

Naturlig gradert 0/8: Se tilslagsstørrelser

Naturlig tilslag: Tilslag av naturlig opprinnelse, både knust/sprengt og grus eller sand, som bare har vært bearbeidet mekanisk, eller eventuelt vasket.

Na₂O-ekvivalent: Alkaliinnholdet i betong beregnes som ekvivalent Na₂O mengde ved formelen:

$$\text{Na}_2\text{O-ekvivalent} = \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O}$$

NaOH-metoden: Metode til påvisning av eventuelt humusinnhold i prøver av tilslagsmateriale. En NaOH-oppløsning gir fargeutslag når det er humus til stede.

Nominell kornstørrelse: Er en angitt kornstørrelse for en sortering. Bare en nærmere angitt vektprosent av materiale kan ligge utenfor (ref. over- og understørrelse).

Overskuddsmasser: steinmaterialer som oppstår fra samferdselsutbygging eller andre anleggsarbeider, vrakstein og avgangsmasser fra steinbrudd.

Overstørrelse: De korn i en sortering som er større enn øvre nominelle kornstørrelse. Mengden angis i vektprosent.

Partikkelsprang: Uttrykk for det forhold at et materiale mangler en eller flere mellomliggende kornfraksjoner.

Petrografisk analyse: For betongtilslag finnes to typer petrografiske metoder: 1) Forenklet petrografisk beskrivelse iht. NS-EN 932-3 og 2) Alkalireaktivitet iht. NB 32 hvor tynnslip punktleses i et petrografisk mikroskop med gjennomfallende lys.

Porøsitet: Forholdet mellom volumet av luft pluss vann i et materiale og prøvens totalvolum. Uttrykkes normalt i %.

Produksjonskontrollsystem: Kontrollsystem for produksjonskontroll og evaluering av produktenes samsvar. Det angir hvilke egenskaper det settes krav til, hvordan egenskapene skal deklarerer, hvor hyppig de ulike egenskaper skal testes og hvordan ytelseserklæringen skal utformes.

Pukk: Knust grovt tilslag.

Resirkulert tilslag: Tilslag som kommer fra bearbeiding av uorganisk materiale som tidligere har vært brukt i byggearbeider, for eksempel nedknust og sortert betong.

Risikobergart: Summen av alkalireaktive bergarter og tvilstilfeller bestemt ved punktelling av tynnslip iht. NB 32.

Sammenligningsverdi (SV): Risikobergarter vektes med faktoren 1 for sand, faktoren 2 for stein og faktoren 1,5 for fint steintilslag samt korrigerert med et vektall fra tidligere opp til 5 resultater. Dersom det er færre enn 5 analyser legges det også til en sikkerhetsmargin som tar hensyn til at usikkerheten avtar når det er utført flere petrografiske analyser.

Sand/sandtilslag: (definisjon fra NB 21): Tilslag der d er mindre enn 1 mm og D er mindre enn eller lik 8 mm samtidig som mengden materiale større enn 8 mm er maksimalt 10 vekt-%, f.eks. 0/4 mm og 0/8 mm; samt der d er større enn eller lik 1 mm og D er mindre enn eller lik 4 mm samtidig som mengden materiale større enn 4 mm er maksimalt 15 vekt-%, f.eks. 2/4 mm

Sand, geoteknisk/geologisk definisjon: Bergartsfragmenter med partikkelstørrelse mellom 0,063 og 2 mm.

Separasjon: Utilsiktet atskillelse av finere og grovere korn i et steinmateriale eller fersk betong.

Sikt (produksjon): Utstyr til å sortere et materiale i angitte kornstørrelser. Det skilles mellom langmaskesikt, maskesikt, rundhull- sikt og stavsikt, samt mellom vibrasjonssikt, våtsikt og vindsikt

Sikt (laboratorie): Utstyr til bestemmelse av korngradering for tilslag ved sikteanalyse. Det benyttes trådsikt med kvadratiske åpninger opp til og med 2 mm, og platesikt med kvadratiske åpninger fra 4 mm og oppover.

Sikteanalyse: Metode for bestemmelse av korngradering ved bruk av sikt med kvadratiske åpninger.

Siktekurve: Se konfordelingskurve.

Singel: Grovt tilslag fra naturforekomster.

Slam og slaminnhold: Oppslembare stoffer i sand med kornstørrelser mindre enn 30 µm. Refererer til metode 118 i Statens vegvesens håndbok R210 Laboratorieundersøkelser.

Stein/steintilslag (definisjon fra NB 21): Tilslag der d er større enn eller lik 1 mm og D er større enn eller lik 8 mm samtidig som mengden materiale større enn 8 mm er mer enn 15 vekt-%, for eksempel 8/16 mm

Stein, geoteknisk/geologisk definisjon: Bergartsfragmenter med partikkelstørrelse mellom 64 og 256 mm.

Sortering: Siktet materiale angitt ved nedre og øvre nominelle kornstørrelse, (vanlig handelsbetegnelse).

Svelleleire: Leirmineraler, hovedsakelig smektitt, som dannes gjennom forvitring/omvandling av feltspatmineraler og har som egenskap å kunne ta opp (og friggi) store mengder vann med konsekvens at tilslaget og betongen sveller.

Tekstur: Betegnelse på mineralenes kornstørrelse, kornform og ordning (arrangement) i bergarter.

Tilsetningsstoff: Stoff som tilsettes betongen i meget små mengder, mindre enn ca. 5 % av sementmengden, for ved sin kjemiske eller fysiske virkning å oppnå eller forbedre spesielle egenskaper.

Tilslag: Granulært materiale som brukes i byggearbeider. Tilslag kan være naturlig, industrielt framstilt, gjenvunnet eller resirkulert.

Tilslagsstørrelser (sorteringer): Tilslagsstørrelser angis ved bruk av betegnelsen d/D, som er henholdsvis nedre og øvre nominelle kornstørrelse.

Tilslagsstørrelsene angis i NS-EN 12620 i klassene **grovt tilslag**, **fint tilslag** og **naturlig gradert 0/8** i henhold til definisjoner gitt i tabell under. Kategoriene angir tillatt andel **understørrelser** og **overstørrelser**, f.eks. betyr G_c85/20 at det er tillatt med 15 % overstørrelser (85 % passering på D) og 20 % understørrelser (inntil 20 % passering på d).

Betegnelse	Tilslagsstørrelse	Kategorier
Grovt tilslag	D/d ≤ 2 eller D ≤ 11,2 mm	G _c 85/20 G _c 80/20
	D/d > 2 eller D > 11,2 mm	G _c 90/15
Fint tilslag	D ≤ 4 mm og d = 0	G _F 85
Naturlig gradert 0/8*	D = 8 mm og d = 0	G _{NG} 90
Samfengt**	D ≤ 45 mm og d = 0	GA ₉₀ GA ₈₅

*Naturlig tilslag av glasial og/eller fluvial opprinnelse. Kan også produseres ved å blande knust tilslag.

**Blandinger av fint og grovt tilslag. For tilslagsstørrelser med $D > 8$ mm kan samfengt tilslag kun benyttes i fasthetsklasser \leq B15.

NB 21 angir tilslagsstørrelser i klassene **sandtilslag**, **fint steintilslag** og **steintilslag**. Fulle definisjoner er gitt i NB 21, tabellen under viser hvordan benevnelsene i NB 21 avviker fra NS-EN 12620:

Tilslagsstørrelse	NS-EN 12620	NB 21
0/2 mm	Fint tilslag	Sandtilslag
0/4 mm	Fint tilslag	Sandtilslag
0/8 mm	Naturlig gradert 0/8	Sandtilslag
2/4 mm	Grovt tilslag	Sandtilslag
2/8 mm	Grovt tilslag	Fint steintilslag
4/8 mm	Grovt tilslag	Fint steintilslag
8/16 mm	Grovt tilslag	Steintilslag

Tørrklassifisering: Alle sorteringsprosesser som foregår uten bruk av vann.

Understørrelse: De korn i en sortering som er mindre enn nedre nominelle kornstørrelse. Mengden angis i vektprosent.

Vanninnhold: Vannmengden i et materiale uttrykt i vektprosent av tørrstoffmengden. I betong også angitt som liter pr. m^3 betong.

Våtklassifisering: Alle sorteringsprosesser som foregår med bruk av vann.

Ytelseserklæring: Ytelseserklæringen er et dokument som inneholder informasjon om byggevaren, produsenten, hvilken harmonisert teknisk spesifikasjon som er lagt til grunn, hvilket system for vurdering og verifikasjon av ytelse som gjelder, og hvilke(t) tekniske kontrollorgan(et) som har vært benyttet.

2 Krav og anbefalinger til betongtilslag i Norge

2.1 Kapitlets omfang

Dette kapitlet redegjør for det europeiske og nasjonale regelverket for betongtilslag. Det redegjøres også for tilleggskrav og anbefalinger som gjelder for bruer, ferjekaier og bærende konstruksjoner i det offentlige vegnettet. I tillegg til dette gis det anbefalinger om resirkulert og gjenvunnet tilslag.

2.2 Europeisk og nasjonalt regelverk

2.2.1 Innledning

Nasjonalt ble krav til dokumentasjon og bruk av tilslag i betong formalisert gjennom en frivillig godkjenningsordning i 1994. Ordningen bygget i noe grad på førsteutgaven av denne publikasjonen fra 1988 og fikk navnet «Deklarasjons- og godkjenningsordning for betongtilslag – DGB». Denne ordningen ble avløst av den harmoniserte europeiske produktstandarden for betongtilslag NS-EN 12620 i 2002, og gjennom denne ble også kravet til CE-merking og deklarasjon av tilslag formelt innført i Norge. Standarden hadde i tillegg en åpning for at det nasjonalt kunne velges om man ønsket å innføre krav til sertifisering eller om det var tilstrekkelig med en produsentdeklarasjon. Norske myndigheter valgte i denne sammenheng at betongtilslag iht. NS-EN 12620 + NA skulle sertifiseres gjennom et utpekt teknisk kontrollorgan, og etter en overgangstid ble den første norske produsenten sertifisert i 2004.

Dokumentasjon og bruk av tilslag i betong er i hovedsak regulert gjennom to standarder. Dette er NS-EN 12620 + NA «Tilslag for betong» og NS-EN 206 + NA «Betong – Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar».

Det finnes per i dag ingen felleseuropeiske krav eller prøvingsmetoder for vurdering av tilslagetts alkalireaktivitet, og dette er dermed et nasjonalt anliggende i hvert enkelt land.

I tillegg til krav gitt av standarder og publikasjoner nevnt over kan en bestiller stille tilleggskrav. Som et eksempel på dette stilles det gjennom vegnormalen N400 «Bruprosjektering» enkelte tilleggskrav som gjelder for betong til bruer, ferjekaier og andre bærende konstruksjoner i det offentlige vegnettet.

2.2.2 Krav iht. NS-EN 12620 + NA Tilslag for betong

Betongtilslag som omsettes i Norge (og EU) skal dokumenteres iht. produktstandarden NS-EN 12620 + NA «Tilslag for betong». NS-EN 12620 + NA har følgende omfang:

- Tilslag til betong i samsvar med NS-EN 206 + NA og all betong til prefabrikkerte betongprodukter og dekker av betong.
- Tilslag og filler¹ fra produksjon av naturlige (herunder også knuste naturlige tilslag), industrielt framstilt (f.eks. luftavkjølt slagg) eller gjenvunnet tilslag med korndensitet større enn 2,00 Mg/m³, inkludert blandinger av disse tilslagene.
- Den omfatter også resirkulert tilslag med korndensitet mellom 1,50 og 2,0 Mg/m³.

Tilslagsstandarder fastslår at det skal være etablert et kvalitetskontrollsystem for produksjonskontroll og evaluering av produktenes samsvar. Den angir hvilke egenskaper det kan settes krav til, hvordan egenskapene skal deklarerer, hvor hyppig de ulike egenskaper som et minimum skal testes og hvordan ytelseserklæringen skal utformes.

Utover krav til egenskaper refererer standarden også til europeiske prøvingsmetoder som skal anvendes til prøvingene. Egenskaper skal deklarerer som «kategori» og i noen tilfeller som «verdi». Det er få absolutte krav i tilslagsstandarder.

2.2.3 NS-EN 206 + NA Betong – Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar

NS-EN 206 med nasjonalt tillegg setter som forutsetning at tilslag til betong er dokumentert og leveres i samsvar med kravene i NS-EN 12620. For at tilslaget skal kunne selges må tilslagsprodusenten være sertifisert av et kontrollorgan (Kontrollrådet eller tilsvarende), og tilslaget må være CE-merket. NS-EN 12620 gir åpning for å deklarerer egenskapene til et tilslag i en lang rekke kategorier, hvor det er åpnet for svært mange ulike kvaliteter i hver egenskapskategori. Standarden gir imidlertid svært få konkrete krav til egenskaper. I det nasjonale tillegget til NS-EN 206 er det derfor satt krav til og begrensinger for hvilke typer betongtilslag som kan anvendes i betong i Norge, i noen tilfeller varierer kravene for ulike fasthets- og bestandighetsklasser. Det er derfor vesentlig for en betongprodusent å ha god kjennskap til egenskapene til det tilslaget han kjøper, og ytelseserklæringen fra tilslagsprodusenten er et viktig dokument i denne sammenheng. Det er derfor avgjørende at en betongprodusent får rask beskjed dersom en tilslagsprodusent gjør endring i sin ytelseserklæring eller om det oppstår avvik på noen av egenskapene.

2.3 Dokumentasjon og produsentens ansvar

NS-EN 12620 + NA tar for seg naturlig tilslag og resirkulert tilslag mht. hvilke egenskaper som skal dokumenteres og krav til prøvingshyppighet. Typisk er det for resirkulert tilslag angitt vesentlig hyppigere prøving enn det som er angitt for naturlig tilslag. Det må sterkt understrekes at de prøvingshyppigheter som er angitt i standarden er minimumshyppigheter som forutsetter at;

¹ Standarden dekker ikke filler som skal brukes som bestanddel i sement eller som noe annet enn inert filler i betong.

- produsenten kan fremlegge dokumentasjon som i detalj viser råmaterialets beskaffenhet, dets opprinnelse, og der det er aktuelt ett eller flere kart som viser plassering og utvinningsplan
- det er etablert et velfungerende produksjonskontrollsystem, inklusive prosesskontroll og styring, som sikrer jevnhet i produksjonen

Dersom disse forholdene ikke er til stede, er det heller ikke grunnlag for å legge kravene til minimum prøvehyppighet til grunn. Det vil da være produsentens ansvar å finne en hyppighet som gir tilstrekkelig sikkerhet for at de målte egenskapene er i samsvar med det som er angitt i ytelseserklæringen. Dersom produsenten ikke klarer å sikre dette, må ytelseserklæringen endres for de aktuelle egenskapene og alle brukere oppdateres med en revidert ytelseserklæring. Det er viktig å merke seg at disse kravene gjelder uansett hvilke krav til hyppighet som er angitt i standarden, og uansett hvor råmaterialet har sin opprinnelse.

2.4 Krav til egenskaper og prøvingsmetoder for naturlig tilslag

Det gis i Tabell 2-1 en samlet oversikt over krav til dokumentasjon, egenskaper og prøvingsmetoder for naturlig tilslag, herunder også knust naturlig tilslag. Ikke alle kravene som er gjengitt i tabellen er formelt sett normative, f.eks. er noen av tilleggene, inkludert det nasjonale tillegget til NS-EN 12620, formelt sett informative. Men i praksis skiller vi ikke på normative og informative tillegg. Tabellen gjengir også noen anbefalinger fra vegnormal N400, i tillegg til de formelle kravene som gis i N400.

For industrielt framstilt tilslag er det ikke gitt anvendelsesregler i Norge pga. manglende erfaring med bruk av slike produkter i Norge.

Tabell 2-1 Egenskaper, hyppighet, beskrivelse av prøvingsmetoder samt krav og anbefalinger til tilslag

Metode og egenskap	Minimumshyppighet	Metodebeskrivelse og kommentarer	NS-EN 12620 + NA	NS-EN 206 + NA	Vegnormal N400 (tilleggskrav)
NS-EN 933-1: Kornstørrelse og gradering	1 per uke	Prøven siktes over spesifiserte sikter og kumulert vektandel i % beregnes.	Betegnelse d/D Kategori og toleranse Graderingskrav for filler	Betegnelse d/D Deklarerert kategori og toleranseklasse $D_{maks} > 16 \text{ mm}$	Ingen krav utover standarden, men anbefaling om strengere toleranser for gradering for fint tilslag og naturlig gradert tilslag
NS-EN 933-1: finstoff ¹⁾	1 per uke	Prøven siktes over spesifiserte sikter og kumulert vektandel i % beregnes. Finstoffet er andelen $< 0,063 \text{ mm}$. For bestemmelse av riktig finstoffinnhold skal det benyttes vasking.	Kategori	Deklarerert kategori	Grovt tilslag: Kategori $f_{1,5}$ Naturlig gradert 0/8 mm: Kategori f_{10}
NS-EN 933-3: Flisighetsindeks (kornform) ²⁾	1 per måned	Prøven siktes over spesifiserte kvadratsikter og stavsikter og vektandel flisige korn beregnes.	Kategori	Kategori $\leq F_{135}$	Kategori $\leq F_{120}$
NS-EN 933-7: Skjellinnhold	1 per år	Prøven sorteres for hånd, og innholdet av skjell i grovt tilslag beregnes. Kan inngå som del av enkel petrografisk beskrivelse NS-EN 932-3	Kategori	Deklarerert verdi $\leq 1,0 \%$ for marint tilslag	
NS-EN 1097-2: Motstand mot knusing (Los Angeles-verdi)	2 per år	Fraksjonen 10-14 mm tromles i en Los Angeles-maskin. Los Angeles (LA)-verdien er prosentandel materiale $< 1,6 \text{ mm}$ etter tromling.	Kategori	Kategori $\leq LA_{40}$. For fasthetsklasser B35 og lavere $\leq LA_{50}$. Blanding og bruk av lineær interpolasjon for å beregne resulterende kategori er tillatt så lenge alt tilslag har kategori $\leq LA_{50}$.	Kategori $\leq LA_{40}$

Metode og egenskap	Minimumshyppighet	Metodebeskrivelse og kommentarer	NS-EN 12620 + NA	NS-EN 206 + NA	Vegnormal N400 (tilleggskrav)
NS-EN 1097-6: Korndensitet	1 per år	Fint og grovt tilslag analyseres (hver for seg) i pyknometer, og vannmettet overflatetørr densitet (VOT) og ovnstørr densitet beregnes.	Deklarert verdi som vannmettet overflatetørr og ovnstørr tilstand	Deklarert verdi som vannmettet overflatetørr og ovnstørr tilstand	
NS-EN 1097-6: Vannabsorpsjon ³⁾	1 per år	Fint tilslag undersøkes ved kjeglemetoden (VOT når kjeglen kollapser), grovt tilslag overflatetørkes.	Deklarert verdi	Deklarert verdi	For fint tilslag (< 8 mm): absorpsjon skal ikke være > 1,5 % For grovt tilslag > 8 mm: absorpsjon skal ikke være > 1,2 %
NS-EN 1367-1: Motstand mot frysing og tining	1 per 2 år	Grovt tilslag utsettes for 10 fryse-tine sykler i ferskt vann. Frostbestandig når < 1% avskalling (F ₁).	Deklarert kategori	Krav om frostbestandig tilslag for bestandighetetsklasser MF40 og MF45. Minst ett av følgende krav må oppfylles: a: kategori F1 b: ≤ 1% vannabsorpsj. C: ≤ 2 % vannabsorpsj. Kombinert med lang feltefaring	Krav om frostbestandig tilslag for all betong
NS-EN 1744-1 del 7: Vannløselige kloridsalter	1 per 2 år 1 per uke for marint tilslag	Prøven settes i vann i 24 timer og ekstraktet titreres ved Volhard-metoden.	Deklarert verdi	Deklarert verdi. Det er krav om kloridklasser i betong avhengig av eksponering, fortrinnsvis foreskrives kloridklasse Cl 0,2, dvs. maks Cl innhold på 0,2 % av sementvekt.	Maks 0,01 % kloridinnhold. Marint tilslag ikke tillatt
NS-EN 1744-1 del 12: Syreløselig sulfat	1 per år	Prøven analyseres ved syreløselig og gravimetrisk metode.	Deklarert kategori	≤ 0,8 % (kategori AS _{0,8})	≤ 0,2 % (kategori AS _{0,2})

Metode og egenskap	Minimumshyppighet	Metodebeskrivelse og kommentarer	NS-EN 12620 + NA	NS-EN 206 + NA	Vegnormal N400 (tilleggskrav)
NS-EN 1744-1 del 11, NS-EN 12620 NA.10: Totalt innhold av svovel (S) og påvisning av magnetkis ved differensialteknisk (DTA) analyse	1 per år. DTA-analyse utføres når det er > 0,1 % totalt svovel i prøven	Prøven analyseres ved syreløselig og gravimetrisk metode eller forbrenningsmetode. Når S > 0,1 % skal DTA utføres på pulverisert prøve som varmes opp. Energiendringen ved et faseskift (endoterm/eksoterm) registreres og mineralfasen kan bestemmes. Magnetkis kan påvises, men metoden gir ingen pålitelig kvantifisering.	Innhold av totalt S ≤ 1,0 % Ved totalt S > 0,1 % S skal DTA brukes for å påvise eventuell magnetkis. Ved påvist magnetkis er kravet til totalt S ≤ 0,1 %		
NS-EN 1744-1 del 15.1/15.3: Bestanddeler som endrer størkning- og herdningstiden for betong (f.eks. humus)	1 per år	Prøven legges i NaOH oppløsning i 24 timer og farge sammenlignes med standard fargeløsning (del 15.1). Når farge er mørkere enn standardløsningen undersøkes endringer i størkningstiden og effekt på 28 døgns trykkfasthet.	Lysere enn standardløsning. Hvis mørkere enn standardløsning testes størkningstid og 28 døgns trykkfasthet	Endring i størkningstid skal være < 30 min., og fasthetsreduksjon < 5%	
NS-EN 932-3: Forenklet petrografisk beskrivelse og innhold av kalkstein	1 per 3 år	Bergarter og mineraler undersøkes visuelt og klassifiseres i grupper. Hele korn av kalkstein kvantifiseres. Forurensninger som svovelkis, jernsulfid, brunkull, asfalt og trebiter skal tas med.	Utdrag av petrografisk beskrivelse tas med i ytelseserklæring. Kalkstein i grovt tilslag deklarerer hvis > 15 %	Ingen krav til innhold av kalkstein i standardbetonger. For konstruksjoner i sulfatholdig miljø (se detaljer i NS-EN 206 + NA) er det ikke tillatt å tilsette kalksteinsfiller.	Ved betongspesifikasjon SV-kjemisk (i sulfatholdig miljø) skal tilslaget være uten innhold av kalkstein eller kalksteinsfiller
NS-EN 933-9: Bedømmelse av finstoffinnhold ved metylenblåttmetoden. Alternativt kan NS-EN 933-8: Bedømmelse av finstoffinnhold ved	1 per uke (Gjelder kun dersom det er påvist behov for dokumentasjon av skadelig finstoff)	Finfraksjon tilsettes en oppløsning av metylenblått og væsken titreres på spesielt filterpapir. Metoden detekterer innholdet av svelleire.	Ikke skadelig i sand når mengde finstoff < 3 %, eller det foreligger bevis på tilfredsstillende bruk. Ellers utføres test med metylenblåttmetoden.		

Metode og egenskap	Minimumshyppighet	Metodebeskrivelse og kommentarer	NS-EN 12620 + NA	NS-EN 206 + NA	Vegnormal N400 (tilleggskrav)
sandekvivalentmetoden benyttes.					
Norsk betongforenings publikasjon nr. 21 og 32: Alkalireaktivitet	1 per år i 3 år. Deretter avhengig av fraksjon og resultat, se NB 21 for detaljer.	Tynnslip av grovt og fint tilslag- og grusfraksjonen framstilles og punkttelles i et petrografisk mikroskop med gjennomfallende lys. En sammenligningsverdi basert på andel risikobergarter og antall prøvinger vektet og beregnes. Det benyttes vektingsfaktor 1 for sand, faktor 1,5 for fint steintilslag og faktor 2 for stein, se detaljer i NB 21.	Skal dokumenteres ved petrografisk metode iht. NB 21. Ikke-reaktivt ved «Sammenligningsverdi < 20%. Kan overprøves ved norsk mørtel- eller betongprismetode iht. NB 32.	Skal tilfredsstillende kravene i NB 21. Dersom tilslaget er alkalireaktivt må det benyttes «sikkert bindemiddel», se NB 21 for detaljer.	For spesielt store/ komplekse bruer skal det vurderes om det er behov for «dobbel sikring», dvs. ikke-reaktivt tilslag og «sikkert bindemiddel».
Statens vegvesens R210, metode 114: Glimmertelling		Utføres ved at fraksjonen 0,125-0,250 mm siktes ut fra en prøve av produktet, og undersøkes i mikroskop. Alle korn innenfor et avgrenset område telles, og alle glimmerkorn innenfor de samme områdene telles særskilt. Innhold av fri glimmer angis som antall glimmerkorn i prosent av totalt antall talte korn.			Ingen krav, men en <u>anbefaling</u> om maksimalt 15 % fri glimmer (prosent av talte korn, ikke volum %).
Statens vegvesens R210, metode 118: Slaminhold i betongtilslag		Det veies opp 200 g sand som har passert sikt 4,0 mm, i målesylindren, og tilsettes 125 ml vann. Målesylindren tettes og rystes godt i minst 1 min, og til slutt vendes den opp ned 10 ganger. Deretter henses blandingen i 24 timer før avlesning. Slaminhold er definert som forholdet mellom volum av slam og volum av underliggende sandsjikt.			Ingen krav, men det <u>anbefales</u> maksimalt 15 % slam i natursand og toleranse på ±3 %. For maskinsand er metoden usikker da grensen mellom slam – og sandlaget ofte er «diffus» og vanskelig å bestemme.
Forurensningsforskriften og Veileder: Helsebaserte tilstandsklasser for	Der det kreves og i tilfelle tvil	Prøven oppløses i varm salpetersyre og tungmetallene arsen (As), bly (Pb), kadmium (Cd), kobber (Cu), krom (Cr),	Ingen krav, men skal deklarerer hvis de overskrider		

Metode og egenskap	Minimumshyppighet	Metodebeskrivelse og kommentarer	NS-EN 12620 + NA	NS-EN 206 + NA	Vegnormal N400 (tilleggskrav)
forurenset grunn, TA2553, 2009: Farlige stoffer		kvikksølv (Hg), nikkel (Ni) og sink (Zn) bestemmes. Videre kan polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og polyklorerte bifenyler (PCB) bestemmes.	Forurensningsforskriftens normverdier		
Statens strålevern, Stråleverninfo 6:15 og NGU Veileder: Radon fra pukk – Grenseverdier og prøvetaking: Radon og radioaktiv stråling	Der det kreves og i tilfelle tvil	Totalt innhold av uran (U) bestemmes ved kjemisk analyse, eller radium (226Ra) bestemmes ved gammamåling	Ingen krav, men skal deklarerer hvis målinger overskrider Statens stråleverns anbefalinger		

¹⁾Da fordelingen av partikkelstørrelsen under 0,063 mm er en viktig materialparameter, kan sikteanalysen med fordel suppleres med en slemmeanalyse iht. Statens vegvesens R210 metode 132. For mer avansert analyse og bestemmelse av kornstørrelse og fordeling av finstoff kan en sedimentasjonsanalyse ved hjelp av en sedigraf (røntgenmetode) eller partikkeltelleranalyse (laserdiffraksjon) utføres. Basert på slike analyser kan også materialets spesifikke overflateareal beregnes.

²⁾Kornform: Den standardiserte metodens minste siktstørrelse er 4 mm. Det kan benyttes kvadratsikter med tilhørende stavsikter med mindre åpninger slik at samme metodikk kan brukes også på sand. Dette er spesielt aktuelt for maskinsand. Bildeanalyse med mikroskop kan også gi en indikasjon på kornform, men metoden er ikke standardisert. For indirekte måling av kornformen i fine partikler og for sammenligning av forskjellige sandprøver kan det utføres prøvinger iht. NS-EN 1097-3 «Løst lagret densitet og hulrominnhold», NS-EN 933-6, del 8: «Strømningskoeffisient» (kantethet i NS-EN 13043: Tilslag for asfalt) eller NZS 3111 «Flow Cone Test» (New Zealand standard).

³⁾Vannabsorpsjon: Erfaringsmessig blir vannabsorpsjonen for maskinsand målt for lavt fordi kjeglemetoden som anvendes ved prøvingen ikke er egnet for maskinsand. Dette skyldes hovedsakelig maskinsandens flisige partikler og skarpe karakter som medfører at kjeglen kollapser ved en tørrere tilstand enn for natursand.

2.4.1 Alkalireaksjon

NS-EN 12620 inneholder ingen spesifikke krav eller prøvingsmetoder for vurdering av tilslagets alkalireaktivitet, men under pkt. 5.7.3 stadfestes det «*Der det kreves, skal alkali-silika-reaktiviteten for tilslag vurderes i samsvar med bestemmelsene som gjelder på stedet der tilslaget skal brukes, og resultatene skal deklarerer*». I Norge er det bestemt gjennom det nasjonale tillegget til NS-EN 206 at delmaterialer og betongsammensetning skal tilfredsstillere kravene i Norsk betongforenings Publikasjon nr. 21 «Bestendig betong med alkalireaktivt tilslag». Prøvingen skal utføres iht. Norsk betongforenings publikasjon nr. 32 «Alkalireaksjoner i betong. Prøvingsmetoder og krav til laboratorier».

For å sikre betong mot alkalireaksjon kan en av følgende fremgangsmåter benyttes:

- a) Bruk av ikke-alkalireaktivt tilslag. I dette tilfellet stilles det ingen krav til alkaliinnhold eller type bindemiddel.
- b) I tilfeller hvor det brukes alkalireaktivt tilslag skal betongens alkaliinnhold være mindre enn $2,5 \text{ kg/m}^3 \text{ Na}_2\text{O-ekv}$. Alternativt skal det brukes et bindemiddel som inneholder tilstrekkelige mengder av flygeaske, silikastøv, slagg, eller andre tilsetningsmaterialer som sikrer mot skadelig alkalireaksjon, og som er dokumentert vha. funksjonsprøving etter regler gitt av NB 21.

I prinsipp kan også alkalireaktiv betong brukes i miljøer hvor det er tilstrekkelig tørt, dvs. i miljøer hvor betongen over tid vil oppnå en relativ fuktighet på $\leq 75 \%$. I praksis er denne muligheten lite benyttet.

Både sand- og steinsorteringer (etter definisjoner gitt av NB 21) skal testes ved en petrografisk analyse hvor tynnslip punkttelles ved hjelp av et petrografisk mikroskop, og prosent risikobergarter bestemmes. Den petrografiske analysen skal utføres av godkjent operatør. Det beregnes en sammenligningsverdi (Sv) som er vektet med faktoren 1 for sand, faktoren 2 for stein og faktoren 1,5 for fint steintilslag samt korrigert med et vektall som tar hensyn til at de siste analysene tillegges større vekt enn eldre analyseresultater. Dersom det er færre enn 5 analyser legges det også til en sikkerhetsmargin som tar hensyn til at usikkerheten avtar når det er utført flere petrografiske analyser. Grenseverdien er satt til sammenligningsverdien 20,0 %, dvs. et tilslag med Sv mindre enn 20,0 % klassifiseres som «ikke alkalireaktivt» og tilslag med Sv større enn og lik med 20,0 % klassifiseres som «alkalireaktivt».

Reaktiviteten for et samlet tilslag som består av flere fraksjoner som er deklartert hver for seg kan beregnes, så lenge deklarasjonene er basert på petrografisk undersøkelse. Hovedregelen er at det beregnes et vektet gjennomsnitt av sammenligningsverdier. Dersom vektet gjennomsnitt av Sv er $< 20,0$ og samtidig bidraget fra steintilslaget $< 15,0 \%$ er tilslagsblandingen å betrakte som ikke-alkalireaktiv, i motsatt fall er tilslagsblandingen å betrakte som alkalireaktiv.

Som hovedregel benyttes petrografisk metode til klassifisering, men resultatet kan overprøves med norsk mørtelprismemotode og/eller norsk betongprismemotode som også overprøver mørtelprismetesten. Prøvingene for mørtelprismemotoden tar ca. 3 uker, mens betongprismemotoden tar ca. 1 år. Alkalireaktiviteten for en betong (dvs. en gitt kombinasjon av tilslag og sement/bindemiddel) kan videre vurderes ut fra funksjonsprøving og erfaringer i felt. Grenseverdiene for mørtelprismemotoden (ekspansjon 14 dager) og betongprismemotoden (ekspansjon 1 år) er gitt av NB 21. Det henvises til NB 21 for detaljerte regler om prøvingshyppighet.

Det norske prøvingsregimet er basert på den kunnskap vi har om norske bergarter. De norske metodene med tilhørende grenseverdier er ikke automatisk egnet for dokumentasjon av tilslag av utenlandsk opprinnelse. For å ivareta usikkerheten knyttet til utenlandske tilslag er det valgt å spesifisere et dokumentasjonsregime som baserer seg på norske metoder, men med strengere prosedyrer og grenseverdier enn for norske tilslag. For detaljer rundt dette henvises det til NB 21.

2.4.2 Skjærkapasitet

I henhold til NS-EN 206+NA skal tilslag som fører til redusert skjærkapasitet bare benyttes der dette er angitt tillatt i betongspesifikasjonen. Betong forutsettes prosjektert med redusert skjærkapasitet i de tilfeller der:

- D_{\max} er mindre enn 16 mm
- der det grove tilslaget ($> 4\text{ mm}$) utgjør mindre enn (om lag) halvparten av den samlede tilslagsmengden, eller
- det benyttes tilslag over 8 mm med lav fasthet, det vil si LA-verdi større enn LA_{40} for trykkfasthetsklasse høyere enn B35, ellers større enn LA_{50} .

2.5 Tilslag fra materialgjenvinning

2.5.1 Sirkulær økonomi og bærekraft

Gjenvinning av materialer fra bygge-, rive- og graveaktiviteter er en viktig komponent i bærekraftig bruk av naturressursene. Effektiv bruk av disse materialene som vegbyggingsmateriale og til betong vil kunne gi en betydelig reduksjon i uttak av naturlige råmaterialer, samtidig som det reduserer mengden avfall. En målsetning i en sirkulær økonomi er å unngå å lage avfall, og at alt skal gjenvinnes. Samtidig er det viktig å være klar over at det er en rekke tekniske utfordringer knyttet til gjenvinning. Dette delkapitlet gir en oversikt over regler for gjenvinning av tilslag gitt i standardverket, men gir også anbefalinger for tilfeller som ikke er dekket i standardverket.

2.5.2 Overskuddsmasser

Den største utfordringen knyttet til overskuddsmasser fra infrastrukturprosjekter er at uttakene kan stamme fra ulike bergarter med varierende mekaniske, fysiske og kjemiske egenskaper. Produksjonskontrollen må derfor utvides betydelig i forhold til ordinær pukkverksdrift hvor forekomstene ofte er bedre kartlagt og mer homogene.

I tidlig planfase bør det utføres en geologisk kartlegging og karakterisering av materialene med tanke på bruk som betongtilslag. Det bør videre lages en plan for arealdisponering som muliggjør selektiv mellomagring og sortering av ulike bergartstyper og brukskvaliteter. Dette vil samlet sett gi nødvendig forutsigbarhet for å utnytte ressursene best mulig.

Det må sjekkes ut om materialene oppfyller de ordinære kravene til egenskaper avhengig av bruksområde. Det er særlig viktig å dokumentere egenskaper knyttet til bestandighet, dvs. frostbestandighet, alkalireaktivitet og innhold av magnetkis. Ved forkastningssoner anbefales det i tillegg å utføre test for svelleleire.

Den løpende kvalitetskontrollen må ha en tilstrekkelig hyppighet til at man fanger opp kritiske variasjoner i egenskapene. Det må i samråd med teknisk kontrollorgan utarbeides kontrollplan for hvert enkelt prosjekt. Det er av spesiell viktighet å teste hyppig nok for totalt svovelinnhold og magnetkis. Forekomst av magnetkis er vanskelig å forutsi, og tillatte grenseverdier er svært lave. Per i dag har man heller ingen botemidler mot den type reaksjoner som magnetkis kan forårsake, i motsetning til alkalireaktivt tilslag hvor man kan bruke spesifikke bindemiddeltyper som eliminerer eller demper reaksjonen.

2.5.3 Resirkulert tilslag fra rivemasser

2.5.3.1 Generelt om rivemasser

Resirkulert tilslag fra rivemasser av betong er et granulært materiale som produseres ved knusing og sortering av betong, tegl, stein og innslag av andre materialer (se kapittel 4.2.3). En viktig forutsetning for gjenbruk er at massene ikke inneholder miljøfarlige stoffer, noe som sikres ved miljøsanering. Kvaliteten av materialer øker videre med en høyere grad av sortering for å begrense andel urenheter, slik som trevirke, lette masser, metall eller stoffrester, og med god dokumentasjon av egenskaper.

2.5.3.2 Innhold av helse- og miljøfarlige stoffer

§ 14 A i avfallsforskriften omhandler gjenvinning av betong og tegl fra riveprosjekter. Den angir at betong og tegl fra riveprosjekter kan brukes til anleggsarbeid som erstatning for andre materialer. Det er stilt krav til at helse- og miljøfarlige stoffer skal kartlegges. Det er videre stilt krav til maksimal konsentrasjon av disse stoffene, se avfallsforskriften for detaljer.

2.5.3.3 Klassifisering og krav til egenskaper i NS-EN 12620 og NS-EN 206

Resirkulert tilslag skal dokumenteres iht. NS-EN 933-11 «Metode for klassifisering av bestanddelene i grovt resirkulert tilslag», og skal deklarerer i samsvar med aktuelle kategorier angitt i NS-EN 12620.

Iht. Nasjonalt tillegg til NS-EN 206 er det i Norge to nasjonale kvalitetsklasser, AN og BN som vist i etterfølgende Tabell 2-2:

Tabell 2-2: Klassifikasjon av kvalitetsklassene AN og BN iht. NS-EN 206 + NA

Emne	Type AN	Type BN
Mineralsk innhold: ($R_{Cu99}^a + R_b^b$, der $R_b < 5\%$):	> 99 %	> 95%
Ikke mineralsk ^c innhold og glass:	< 1 %	< 5 %
Isolasjonsmateriale og planterester	Hver < 0,1 vol. %	Hver < 0,5 vol. %
Densitet: Ovnstørr ^d	> 2000 kg/m ³	> 1800 kg/m ³
Vannmettet overflatetørr ^d	> 2100 kg/m ³	> 2000 kg/m ³
Vannabsorpsjon:	< 10 %	< 20 %

- Kategorien er ikke angitt i NS-EN 12620. R_{Cu99} skal bestå av minst 99 % av følgende bestanddeler, enten enkeltvis eller i kombinasjon: betong, betongprodukter, mørtel, naturstein, eller mekanisk eller hydraulisk stabilisert tilslag.
- R_b er murprodukter av leire og kalsiumsilikater samt ikke-flytende porebetong
- Ikke-mineralsk innhold som kohesjonsmaterialer (leire og jord), metaller, ikke-flytende tre, plast og gummi samt gips
- Utføres iht. NS-EN 1097-6. Kravet skal oppfylles for minst en av metodene.

Regler for tillatt innblandingsgrad av fint og grovt tilslag i ulike fasthets- og bestandighetsklasser er gitt av nasjonalt tillegg til NS-EN 206, se Tabell 2-3.

Tabell 2-3: Største andel av tilslag som kan erstattes med resirkulert tilslag

Trykkfasthet- og bestandighetsklasse	Sortering	AN	BN	Sum AN + BN*
≤ B25 og M90	0/4 mm	20 %	5 %	20 %
≤ B30 og M90	0/4 mm	20 %	5 %	10 %
≤ B35 og M90	4/32 mm	40 %	10 %	30 %
≤ B45, M90 og M60	4/32 mm	40%	0 %	-

*Dersom begge klasser benyttes, gjelder også begrensningene på klasse BN

Resirkulert tilslag skal dokumenteres og deklarerer på tilsvarende vis som for naturlig tilslag. Det er imidlertid krav om økt prøvingshyppighet for noen av egenskapene, se Tabell 2-4. For enkelte av egenskapene er det også spesifisert avvikende metoder sammenlignet med dokumentasjon av naturlig tilslag.

Tabell 2-4: Egenskaper med avvikende krav og/eller prøvingshyppighet i forhold til naturlig tilslag

Metode og egenskap	Minimumshyppighet	Krav i NS-EN 206 eller NS-EN 12620	Kommentar
NS-EN 1097-6: Korndensitet	1 per måned	> 2100 kg/m ³ (for AN) > 1800 kg/m ³ (for BN) (vannmettet overflatetørr)	
NS-EN 1097-6: Vannabsorpsjon	1 per måned	< 10 % (for AN) < 20 % (for BN)	
NS-EN 1744-5: Syreløselige kloridsalter	2 per år	Ikke spesifikke krav til tilslag, men krav til kloridklasser i betong	Mer klorider vil bli tilgjengelig når sementpastaen karbonatiserer. Bruk av syreløselig metode fanger opp dette bedre enn bruk av vannløselig metode.
NS-EN 1744-1: Syreløselig sulfat	1 per måned	≤ 0,8 %	Økende tilgjengelighet av sulfater når sementpastaen karbonatiserer. Bruk av syreløselig metode fanger opp dette.
NS-EN 1744-6: Innflytelse på begynnende størkning av sement	2 per år	Endring i størkningstid < 60 min. og fasthetsreduksjon < 5 %	
NS-EN 1744-1, NS-EN 12620 NA.10: Totalt innhold av svovel (S) og	2 per år	Innhold av totalt S ≤ 1,0 %	Metoden vil også fange opp svovel fra sementpasta som ikke er relevant i denne sammenheng. For å korrigere for dette kan følgende

påvisning av magnetkis ved differensialteknisk (DTA) analyse		Ved totalt S > 0,1 % S skal DTA brukes for å påvise eventuell magnetkis. Ved påvist magnetkis er kravet til totalt S ≤ 0,1 %	korreksjonsverdier trekkes fra målte verdier: For grovt tilslag: 0,11 % For fint tilslag: 0,16 % Beregning av korreksjonsverdiene er vist under tabellen.
NS-EN 933-11 Bestanddel i grovt resirkulert tilslag	1 per måned	Se Tabell 2-2	

Korreksjonsverdiene for svovel er beregnet ved formel 1 og 2:

- 1) Grovt tilslag: $2,7 \% \text{SO}_3 \times 32/80 (M_{m_s}/M_{m_{\text{SO}_3}}) \times 10 \% \text{pasta} = 0,11 \% \text{S}$
- 2) Fint tilslag: $2,7 \% \text{SO}_3 \times 32/80 (M_{m_s}/M_{m_{\text{SO}_3}}) \times 15 \% \text{pasta} = 0,16 \% \text{S}$

SO₃ - innholdet i norske sementer varierer mellom 2,7 og 4,0 %. Det er valgt å bruke 2,7 % i formelen, da det gir en konservativ verdi for korreksjonsfaktoren.

Pastainnhold for grovt og fint resirkulert tilslag i formelen er valgt til henholdsvis 10 % og 15 %. Disse verdiene ligger i underkant av det normale variasjonsområdet, og gir dermed en konservativ verdi for korreksjonsfaktoren.

2.5.3.4 Alkalireaktivitet – anbefalinger for resirkulert tilslag

Resirkulert betong fra riveprosjekter vil i mange tilfeller inneholde alkalireaktive tilslag. I tillegg vil den alltid inneholde alkalier fra sementpastafasen. Hverken betongstandarden NS-EN 206 med nasjonalt tillegg eller NB 21 gir regler for hvordan dette skal håndteres. Derimot omtales dette i tilslagsstandarden NS-EN 12620, tillegg G:

«Når det gjelder resirkulert tilslag i betong, er det nødvendig å forsikre seg om at den opprinnelige betongen ikke inneholder reaktive tilslag (eller tilslag som reagerer). Der alkaliinnholdet i den nye betongen (eller i sementen betongen inneholder) begrenses, er det nødvendig å bestemme og ta hensyn til alkaliinnholdet i resirkulert tilslag i betong. Når det gjelder vanlig resirkulert tilslag, er det hensiktsmessig å anse materialet som mulig reaktivt tilslag, med mindre det er uttrykkelig fastslått at det er ikke-reaktivt. I begge tilfeller bør det tas hensyn til muligheten for uforutsigbar variasjon i bestanddelene.»

NB 18 gir følgende anbefalinger:

- Med mindre noe annet er dokumentert gjennom prøving med betongprismemetode, skal resirkulert tilslag anses som mulig alkali-reaktivt, og sammenligningsverdi (Sv) skal settes til 100 %.
- Ved beregning av betongens tillatte alkaliinnhold etter regler gitt i NB 21, skal det tas hensyn til alkaliinnholdet i den resirkulerte betongens sementpasta. Følgende formler benyttes for å beregne alkalibidraget fra henholdsvis fint (0/4 mm) og grovt (+4 mm) tilslag:

3) Alkaliinnhold grovt = Resirkulert grovt tilslag (kg/m^3) x 15 % pasta x 1,0 % Na_2O -ekv.

4) Alkaliinnhold fint = Resirkulert fint tilslag (kg/m^3) x 30 % pasta x 1,0 % Na_2O -ekv.

Bakgrunn for formlene:

- Faktorene 15 % og 30 %: For grovt resirkulert tilslag vil sementpastaandelen erfaringsmessig kunne være opp mot 15 %, og for fint resirkulert tilslag opp mot 30 %.
- Utlekkingsdata fra resirkulert tilslag fra ulike prosjekter med varierende betongtyper, testet ved ulike pH-nivåer, har vist at målt Na_2O -ekv. alltid er lavere enn 0,90 %. Det er dermed «konservativt» å bruke 1,0 % i formlene.

Dersom man gjennomfører dokumentasjon av sementpastaandel i fint eller grovt tilslag, kan man benytte dokumentert verdi i stedet for de oppgitte verdiene i formel 3 eller 4.

Eksempel:

For en betong hvor vi tilsetter 300 kg/m^3 resirkulert 8/22 mm tilslag vil få følgende bidrag fra det resirkulerte tilslaget:

$$300 \times (15/100) \times (1,0/100) = 0,45 \text{ kg/m}^3 \text{ Na}_2\text{O-ekv.}$$

Dette bidraget fra det resirkulerte tilslaget skal så legges til alkaliinnholdet fra bindemiddel og tilsetningsstoffer beregnet iht. regler gitt av NB 21.

Funksjonsprøving av resirkulert tilslag iht. regler i NB 21:

I noen tilfeller kan det være ønskelig eller nødvendig å dokumentere alkalireaktiviteten til en konkret betongsammensetning. For slike tilfeller kan man benytte seg av funksjonsprøving iht. regler gitt i NB 21. En slik dokumentasjon tar minst 1 år å gjennomføre.

2.5.3.5 Anbefalinger dersom man går ut over standardens krav om innblandingsgrad i bestandighetsklasser M60 og M90

Nasjonalt tillegg til NS-EN 206 angir maksimalt tillatt innblandingsgrad av fint og grovt resirkulert tilslag for bestandighetsklasser M60 og M90. Disse kan benyttes uten spesiell dokumentasjon av bestandighetsmessige og mekaniske egenskaper. Økende innblandingsgrad av resirkulert tilslag kan ha negativ effekt på mekaniske egenskaper og motstand mot karbonatisering. Det er åpning for å anvende større mengder enn angitt i Tabell 2-3, men anbefales da følgende tilleggsdokumentasjon:

Mekaniske egenskaper (ut over trykkfasthet som alltid dokumenteres):

- Elastisitetsmodul
- Spaltestrekkfasthet

Prosjekteringsansvarlig må ta hensyn til de oppnådde mekaniske egenskaper.

Bestandighetsprøving (ikke relevant for bestandighetsklasse M90):

Karbonatiseringsmotstand:

- Metode: NS-EN 12390-10. Prøven gjennomføres i klimakammer, eksponeringstid skal være minst 1 år.
- Kriterium: Oppnådd karboniseringsdybde etter 1 år bør være like god eller bedre enn en referansebetong med 100 % naturlig tilslag.

Dokumentasjonen skal gjennomføres for materialsammensetningen som skal benyttes i prosjektet.

2.5.3.6 Anbefalinger dersom betongen skal brukes i bestandighetsklasser M(F)40 og M(F)45, for ulike innblandingsgrader

Nasjonalt tillegg til NS-EN 206 gir ikke regler for å bruke resirkulert tilslag i høyere bestandighetsklasser enn M60, men angir at for konstruksjoner med krav til vanntetthet, frostbestandighet eller motstand for kloridinntrengning må egnetheten av tilslaget dokumenteres spesielt. For betong i bestandighetsklasser M(F)40 og M(F)45 må det tas hensyn til at økende innblandingsgrad av resirkulert tilslag vil kunne gi reduksjon i motstand mot kloridinntrengning og motstand mot salt/frostnedbrytning. I tillegg til egenskaper beskrevet under kapitlene 2.5.3.3 og 2.5.3.4 bør følgende egenskaper dokumenteres dersom betongen skal benyttes i bestandighetsklasser M45 og M40:

Motstand mot kloridinntrengning:

- Metode: NS-EN 12390-11. Konsentrasjon av NaCl økes til 6 %. Eksponeringstid i saltløsning skal være 91 ± 1 døgn.
- Anbefalt kriterium: Angitt diffusjonskoeffisient (D_{app} (90 døgn) for henholdsvis M(F)40 ($2,5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$) og M(F)45 ($6,0 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)

For betonger utsatt for frost-/saltnedbrytning (bestandighetsklasser MF45 og MF40) bør i tillegg betongens fryse/tine-motstand dokumenteres:

Fryse-/tinemotstand:

- Metode: SN-CEN/TS 12390-9. «Slab-test» med saltløsning som frysemedium
- Anbefalt kriterium: Avskallet materiale, $m_{s,56} \leq 0,50 \text{ kg/m}^2$

Dokumentasjonen gjennomføres for materialsammensetningen som skal benyttes i prosjektet.

2.5.4 Gjenvunnet tilslag fra gravemasser

2.5.4.1 Gravemasser

Gravemasser er gjenvunnet jord, leir, sand, grus og stein fra både rene og lettere forurensede urbane og industrielle byggegrunner. Massene består hovedsakelig av naturlig, geologisk materiale, men de kan inneholde en andel industrielle og menneskeskapte bestanddeler.

Gravemasser er ikke direkte omtalt hverken i NS-EN 206 eller i NS-EN 12620, standardverket gir altså per i dag ikke regler for bruk i betong.

2.5.4.2 Krav til innhold av helse- og miljøfarlige stoffer i gravemasser

Rene gravemasser er sammensatt av naturlige bestanddeler som jord, leir, sand, grus og stein, og skal oppfylle kravene til miljøgifter i jord (farlige stoffer) innenfor tilstandsklasse 1 iht. forurensningsforskriftens kapitel 2 og veileder "*Helsebaserte tilstandsklasser for forurenset grunn*" (TA-2553/2009»). **Lettere forurensede gravemasser** inneholder i tillegg til naturlige bestanddeler også mindre mengder av forurensninger som betong, asfalt, tegl, glass og treflis. Gravemassene skal oppfylle kravene til miljøgifter innenfor tilstandsklassene 2 til 5. Gravemasser som inneholder miljøgifter over tilstandsklasse 5 skal betraktes som farlig avfall og deponeres i godkjent avfallsdeponi.

Iht. forurensingsloven skal gravemassene først kjøres til og deponeres på lokalt godkjent mellomlager eller godkjent deponi. Det er krevd at opprinnelsessted, tilstandsklasse og egenerklæring registreres og leveres sammen med massene så disse er sporbare. Produksjon av prosessert gravemasse hvor tilslaget gjenvinnes fra gravemasser er beskrevet i avsnitt 4.2.3.

2.5.4.3 Krav til egenskaper og dokumentasjon for prosesserte gravemasser

Prosessert gravemasse skal oppfylle samme krav til egenskaper som stilles til naturlig geologisk tilslag. Siden massene kan stamme fra ulike opprinnelsessteder, kan det være en utfordring å dokumentere ensartetheten og sammensetningen av materialene. Derfor er minimumskravene til prøving for naturlig geologisk tilslag som er gitt i standardene med nasjonale tillegg ikke tilstrekkelige. Det er viktig å finne fram til et prøvningsopplegg og en riktig prøvingshyppighet for å sikre ensartet kvalitet. Dette innbefatter petrografisk beskrivelse for å identifisere uønskede bergartstyper, eksempelvis fyllitt og glimmerskifer. Innhold av alkalireaktive bergarter må også bestemmes iht. regler gitt i NB 21. Eventuelt innhold av glasspartikler må dokumenteres og deklarerer. Sammensetningen av gravemassene bestemmes og dokumenteres iht. NS-EN 933-11. Det må utarbeides en kontrollplan i samråd med teknisk kontrollorgan. Innhold av uønskede bergartstyper og betong, tegl, asfalt og annet må framgå av ytelseserklæringen.

Innhold av farlige stoffer som tungmetaller, arsen og organiske forbindelser må dokumenteres. Kravene til krom og arsen er lavere i forurensningsforskriften enn i avfallsforskriften, altså kan tilslag produsert fra resirkulert betong (hvor avfallsforskriften gjelder) inneholde betydelig større innhold av krom og arsen enn det som er tillatt for tilslag fra gravemasser (hvor forurensningsforskriften gjelder).

Tilslaget fra prosessert gravemasse består av bergartsmateriale samt en mindre varierende andel bestanddeler som betong, tegl og asfalt. Dominansen av bergartsmateriale forventes derfor å bestemme de betongteknologiske egenskaper tilsvarende som for naturlig tilslag. Fullskala forsøk har også vist at prosessert gravemasse anvendt som betongtilslag kan tilfredstille de samme kravene som tradisjonelle betongblandinger med naturlig tilslag. Innhold av porøse partikler, eksempelvis tegl, kan imidlertid ha negativ innvirkning på betongens frostmotstand og motstand mot kloridinntrengning, og dersom betongen skal benyttes i bestandighetsklasser M(F)40 eller M(F)45 bør det gjøres vurderinger av frostbestandighet og motstand mot kloridinntrengning.

2.5.5 Gjenvunnet tilslag fra betongproduksjon

Gjenvunnet tilslag er vasket restbetong og knust herdnet restbetong fra blandeverk, betongvare- og betongelementfabrikker. I henhold til NS-EN 206 kan gjenvunnet tilslag inngå med opp til 5 % innenfor hver av sorteringene 0/4 mm og 4/32 mm ved produksjon av ny betong eller totalt 5 % av betongens totale tilslagsmengde når kun 4/32 mm- sorteringen anvendes.

Hvis mengden gjenvunnet tilslag er større enn 5 % gjelder følgende: Gjenvunnet vasket tilslag skal fraksjoneres i fint og grovt tilslag, og dokumenteres etter reglene gitt i NS-EN 12620 + NA. Gjenvunnet tilslag fra knust herdnet restbetong skal i dette tilfellet behandles som resirkulert tilslag fra rivemasser.

2.6 Import og eksport av betongtilslag

2.6.1 Generelt

Byggevareforordningen fastsetter regler for omsetning og tilsyn av CE-merkede byggevarer og pålegger byggevarerprodusenter å deklare egenskaper på samme måte for alle byggevarer som selges og markedsføres på det europeiske markedet og hele EØS området. CE-merking og ytelseserklæring er derfor obligatorisk for betongtilslag som er dekket av den harmoniserte produktstandard NS-EN 12620 + NA. Dette betyr at ved import og eksport av betongtilslag gjelder dokumentasjonen av produktegenskaper utført ved en harmonisert prøvingsstandard i hele det europeiske markedet. Dette er ikke tilfellet for spesielle nasjonale krav og prøvingsmetoder som ikke er dekket av en harmonisert standard.

2.6.2 Import av betongtilslag

Ved import av betongtilslag til Norge kreves det dokumentasjon for at tilslaget egenskaper er bestemt iht. nasjonale tillegg til NS-EN 12620 + NA. Her er de fleste prøvinger også harmoniserte europeiske prøvingsstandarder, bortsett fra alkalireaktivitet som skal bestemmes iht. Norsk Betongforenings publikasjon NB 21 «*Bestendig betong med alkalireaktivt tilslag*». Merk at NB 21 har egne regler for utenlandske tilslag.

Siden det i liten grad importeres tilslag til Norge, er det hovedsakelig ved import av prefabrikkerte betongelementer at det er aktuelt å dokumentere om det anvendte tilslaget oppfyller norske krav.

Det er ikke noe krav om at utenlandske produsenter av tilslag/betongelementer skal være sertifisert av Kontrollrådet. Det vil være tilstrekkelig at de er sertifisert av et teknisk kontrollorgan, så lenge produsenten er kjent med spesifikke norske krav nedfelt i de nasjonale tilleggene til NS-EN 206 + NA og NS-EN 12620 + NA, og kan dokumentere at de oppfyller disse.

2.6.3 Eksport av betongtilslag

For eksport av norsk betongtilslag gjelder samme regler som for import, nemlig at dokumentasjonen av produktegenskaper skal utføres iht. en europeisk harmonisert prøvingsstandard for å være gjeldende i det europeiske markedet og EØS området. Det skal nevnes at det ikke alltid er de samme prøvinger som kreves i Norge som kreves i utlandet. F.eks. kreves det i Danmark at norsk betongtilslag i tillegg testes iht. NS-EN 1376-4: «*Prøvingsmetoder for termiske egenskaper og forvittringsmotstand for tilslag. Del 4 Bestemmelse av uttørkingssvinn*». Videre skal alkalireaktivitet testes iht. amerikansk standard ASTM C 1260 som er en mørtelprimetest. Resultatet av den norske petrografiske metoden alkalireaktivitet er kun gjeldende i Norge.

For eksport av norsk betongtilslag utenfor EU- og EØS området gjelder ikke europeiske standarder, og det må forventes at tilslaget egenskaper må dokumenteres iht. de enkeltes lands krav og prøvingsmetoder.

Flere norske tilslagsprodusenter bruker Kontrollrådets sertifisering som dokumentasjon ved eksport. Kontrollrådet har utstedt sertifikater på engelsk, tysk, fransk og polsk, men sertifiserer da normalt kun mot EN 12620 +A1, og ikke mot eventuelle nasjonale tilleggskrav.

3 Geologiske ressurser og bestandighet

3.1 Innledning

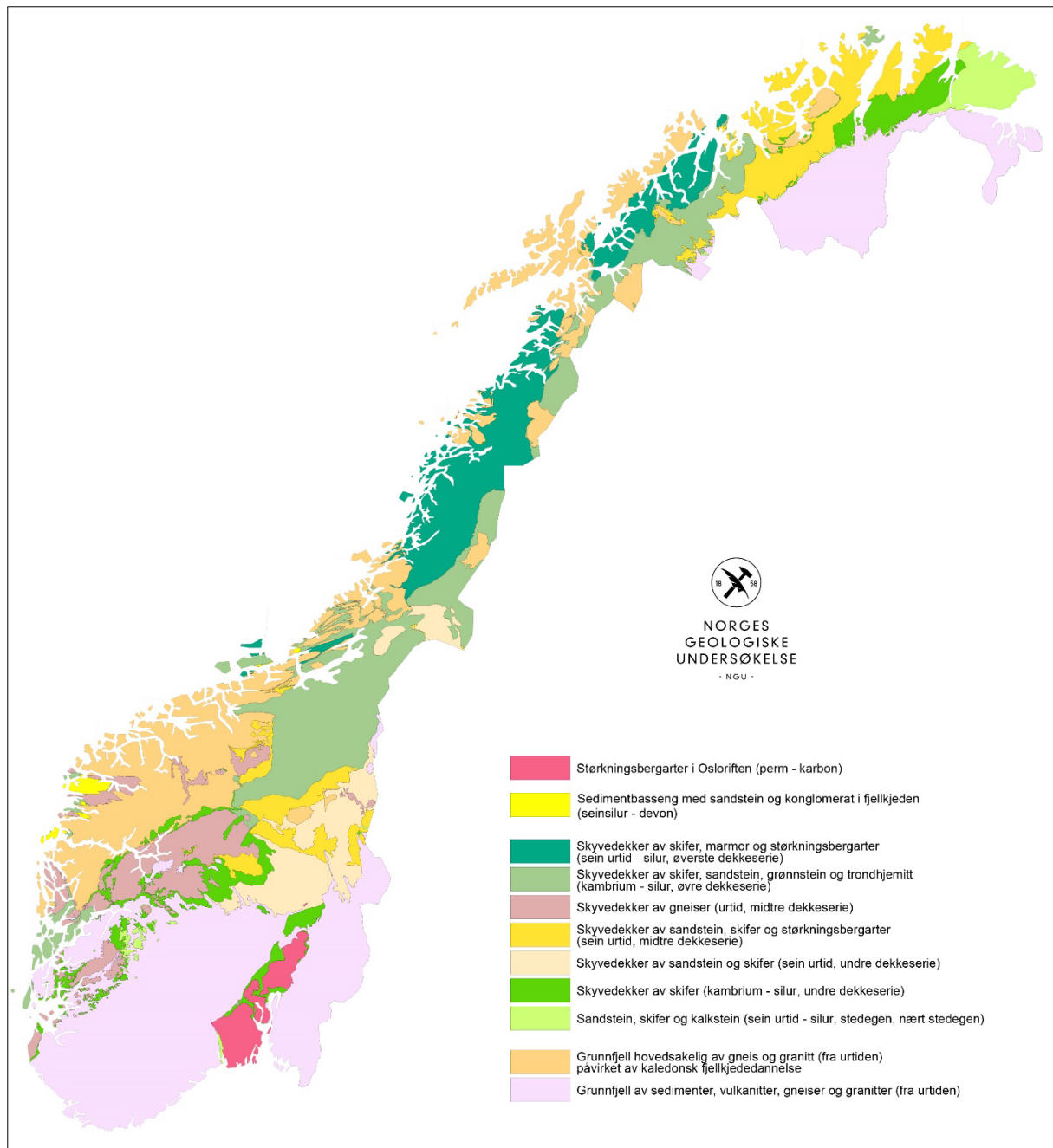
Egnetheten av mineralske råstoffer som tilslag i betong er i vesentlig grad styrt av de geologiske forholdene som har vært bestemmende for materialenes dannelse. Det gjelder berggrunnen – hvilke bergartsdannende prosesser som har virket gjennom millioner av år, det gjelder løsmasser – hvordan først og fremst is og vann har formet landskapet og lagt igjen sand, grus og leire gjennom de siste hundre tusen år, og det gjelder også senere virkende fysiske og kjemiske prosesser som har endret materialene etter avsetning, gjennom forvitring og forurensning.

3.2 Berggrunn

Bergartene som utgjør berggrunnen er bestemmende for hvilke egenskaper tilslaget kan forventes å ha i betong, både når bergarten benyttes som knust stein, og når berggrunnen er bestemmende for hvilken bergartssammensetning man finner i sand og grus. Figur 3-1 viser et forenklet berggrunnskart over Norge.

3.2.1 Bergartsområder og tilslageegenskaper

Tabell 3.1 omhandler ganske generelle egenskaper (mekaniske egenskaper, støpelighet), men i mindre grad kjemisk bestandighet (alkalireaksjoner, magnetkisproblematikk). Dette håndteres i eget underkapittel 3.3. Tabell 3-1 refererer til kartet i Figur 3-1.



Figur 3-1: Forenklet berggrunnskart over Norge. (NGU)

Tabell 3-1: Bergartsområder og tilslagsegenskaper

Område	Geologisk tid	Dominerende bergarter	Vurdering av egenskaper i betong
Oslofeltet	Perm til karbon	Størkningsbergarter, basalter, syenitter, porfyrer, diabaser	De vulkanske/magmatiske bergartene i Oslofeltet har jevnt over gode mekaniske egenskaper. Det utvinnes mye tilslag i dette området.
Sedimentbasseng i fjellkjeden	Silur til Devon	Sandstein og konglomerat	Et lite område med sandsteiner som kan gi bra tilslag, men det må sjekkes for alkalireaktivitet.
Skyvedekkene i Nord-Norge	Urtid til Silur	Skifer, marmor, størkningsbergarter	Her er det store variasjoner mht. tilslagsegenskaper. Lokalt kan bl.a. både grønnstein og trondhemitt gi brukbare tilslag, noen intrusiver som rhyolitt må sjekkes for alkalireaktivitet, kvartsskifer kan i noen grad knuses som tilslag, mens de store områdene med svakere skifere (grønnskifer, fyllitt og glimmerskifer) er lite egnet for bruk i betong.
Skyvedekkene i Trøndelag og nordover	Kambrium til Silur	Skifer, sandstein, grønnstein, gråvakke og trondhemitt	
Skyvedekker i fjellkjeden	Urtid	Gneiser	Gneisområdene i fjellkjeden vil normalt kunne by på brukbare tilslagsmaterialer. utfordringer med fri glimmer.
		Sandstein, skifer, størkningsbergarter	Bergartsvariasjoner, det bør undersøkes grundig i hvert enkelt tilfelle.
		Sandstein og skifer	Områder som kan være utfordrende mht. bestandighet
Skyvedekker av skifer, randsonen til fjellkjeden, og Oslofeltet	Kambrium til Silur	Skiferbergarter – leirskifer, kalkskifer, hornfels, alunskifer i Oslofeltet; fyllitter og glimmerskifere langs fjellkjeden	Problematiske områder mht. betongtilslag, (mekanisk svake bergarter, bestandighetsutfordringer, flisige produkter).
Sedimentbergarter, bl.a. i Finnmark	Urtid til Silur	Sandstein, skifer og kalkstein	Bergartsvariasjoner, bør undersøkes grundig i hvert tilfelle, mht. mekaniske egenskaper og bestandighet.
Grunnfjell, skyvedekke	Urtiden, men påvirket av den Kaledonske fjellkjede	Omvandlede sedimenter, vulkanitter, gneiser, granitter, anortositter og beslektede bergarter	Bergarter i disse områdene er gjerne faste og homogene, med gode mekaniske egenskaper. Bergartsgrunnlaget er oftest til stede for betongtilslag av god kvalitet.
Grunnfjell	Urtiden (prekambrium)		

3.2.2 Forekomsttyper og tilslagsegenskaper

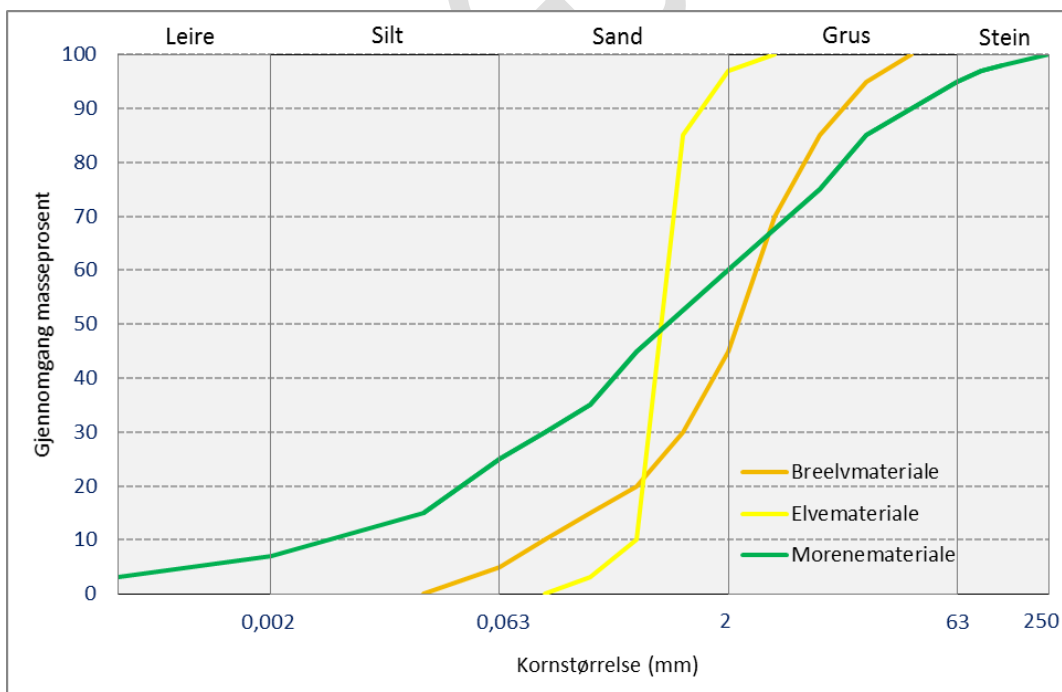
Sand og grus er i naturen konsentrert i forekomster der vann har vært en viktig faktor i dannelsesprosessen. Særlig viktig er breelvvavsetninger som er dannet under istiden ved at isbreer har skurt berg og slitt løs deler under bevegelse og smelting. Smeltevannet har bearbeidet og transportert partiklene til de er blitt avsatt konsentrert foran eller langsmed, i sprekker og i tunneler under en stagnerende isbre. Sand- og grusforekomstene ble tilgjengelige da isen smeltet bort og landet hevet seg.

Breelvmaterialer er velegnet og er mye brukt i betong. Breelvmaterialer er oftest velgraderte med en rundingsgrad som avhenger av hvor langt partiklene er transportert av rennende vann. At materialet er velgradert betyr at det inneholder mange kornstørrelser, men de fineste partiklene (leire) er gjerne vasket vekk.

Elve- og morenematerialer kan også være viktige forekomsttyper til betongformål. Elvematerialer er ensgraderte og kornene er gjerne godt rundet på grunn av vannbehandling. Materialet består av et begrenset antall kornstørrelser, hovedsakelig sand og grus, og det gir en bratt kornfordelingskurve. Elvematerialer kan være egnet til betongformål forutsatt at de blir kombinert med andre materialer, slik at egnet tilslagskurve oppnås.

Morenemateriale inneholder gjerne alt fra leirpartikler til større stein og blokk og har vært lite utsatt for vannbehandling og sortering. Denne typen materiale kan brukes i betong forutsatt at materialet foredles (vasking, sikting og eventuell knusing).

Figur 3-2 viser eksempler på typiske kornfordelingskurver for beskrevne materialtyper.



Figur 3-2: Typiske kornfordelingskurver for breelv-, elve- og morenemateriale.

Strandavsetninger er også naturlig avsatt sand og grus, men benyttes sjelden som betongtilslag. De er gjerne dannet av bølger og strøm i strandsonen i form av utvasking. Mektigheten på slike forekomster er begrenset. På beskyttede steder består strandavsetninger gjerne av sand, mens de på værutsatte steder inneholder både grus og stein.

En naturlig avsatt sand- og grusforekomst vil ha en bergarts- og mineralsammensetning som gjenspeiler berggrunnen som disse massene har blitt transportert fra av is og/eller vann. Norske sand- og grusforekomster er som oftest transportert relativt korte avstander. Det innebærer at deres egenskaper i stor grad vil samsvare med geologien i de nærliggende områdene når vi tar i betraktning hvilken veg isen har beveget seg. Sand- og grusforekomster kan derfor være sammensatt av flere bergarter eller enkeltstående mineralkorn, med ulike egenskaper, der enkelte kan ha negativ innvirkning på betong.

3.2.3 Ressurssituasjonen for sand og grus

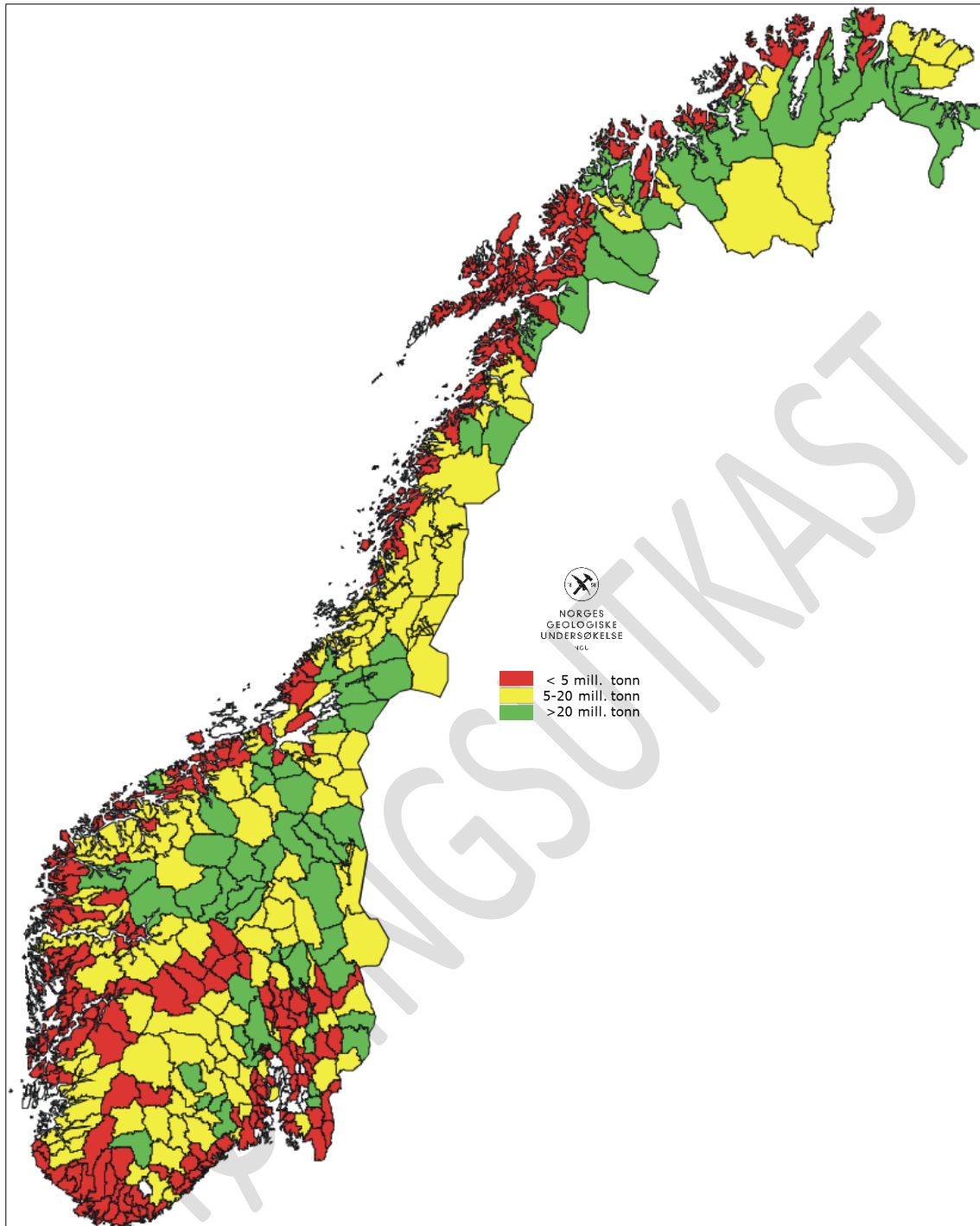
Norges geologiske undersøkelse (NGU) har registrert mer enn 9000 sand- og grusforekomster, hvor rundt 5500 forekomster er volumberegnet til totalt å inneholde 12 milliarder m³ sand og grus. 7000 massetak er registrert, men det er drift i knapt 10 % av dem.

De største forekomstene med sand og grus i Norge finnes i områdene rundt Oslofjorden og nordover til Mjøsa, samt i deler av Trøndelag. Her har det vært størst landhevning etter istiden, samt store mengder med smeltevann i aksjon. Spesielt da isen hadde en rask tilbaketrekning etter å ha skjøvet på den store Ra-morenen, ble de største israndforekomstene i landet dannet.

I tillegg er det mye sortert sand og grus langs hoveddalførene i indre del av Østlandet. På Sørlandet og Vestlandet er det generelt lite sand og grus, men enkelte dalfører rommer viktige forekomster. I Nord-Norge finner vi de største forekomstene i Nord-Troms og Finnmark, mens Nordland er fattig på sand og grus.

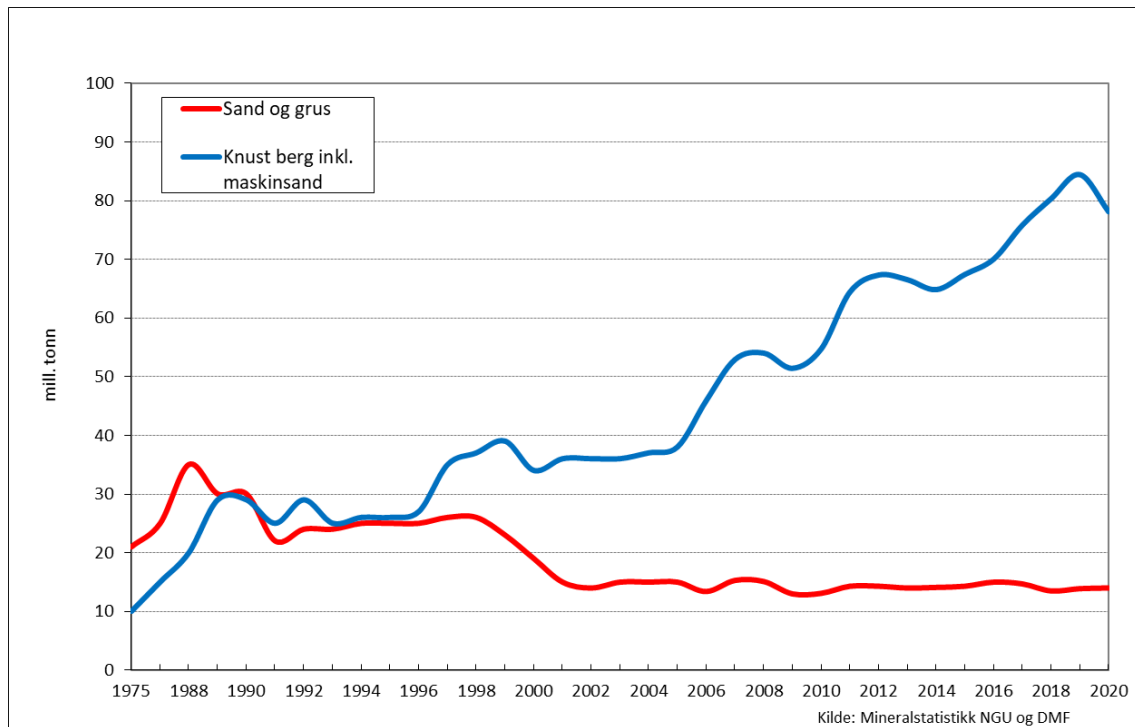
Sand- og grusreservene er ujevnt fordelt i landet i tillegg til at graden av utnyttelse av ressursene varierer. Mange forekomster er berørt av arealkonflikter som bebyggelse, landbruk, skogbruk, infrastruktur samt geologiske begrensninger i form av at hele ressursen ikke kan disponeres (for finkornet eller ensgradert f.eks.). Figur 3-3 viser kommunevis fordeling av ressursene etter at det er foretatt en reduksjon basert på arealkonflikter og andre begrensninger.

Langs kysten er det generelt underskudd på sand- og grusressurser (rød farge), mens indre deler av landet er godt forsynt med slike materialer (grønn og gul farge).



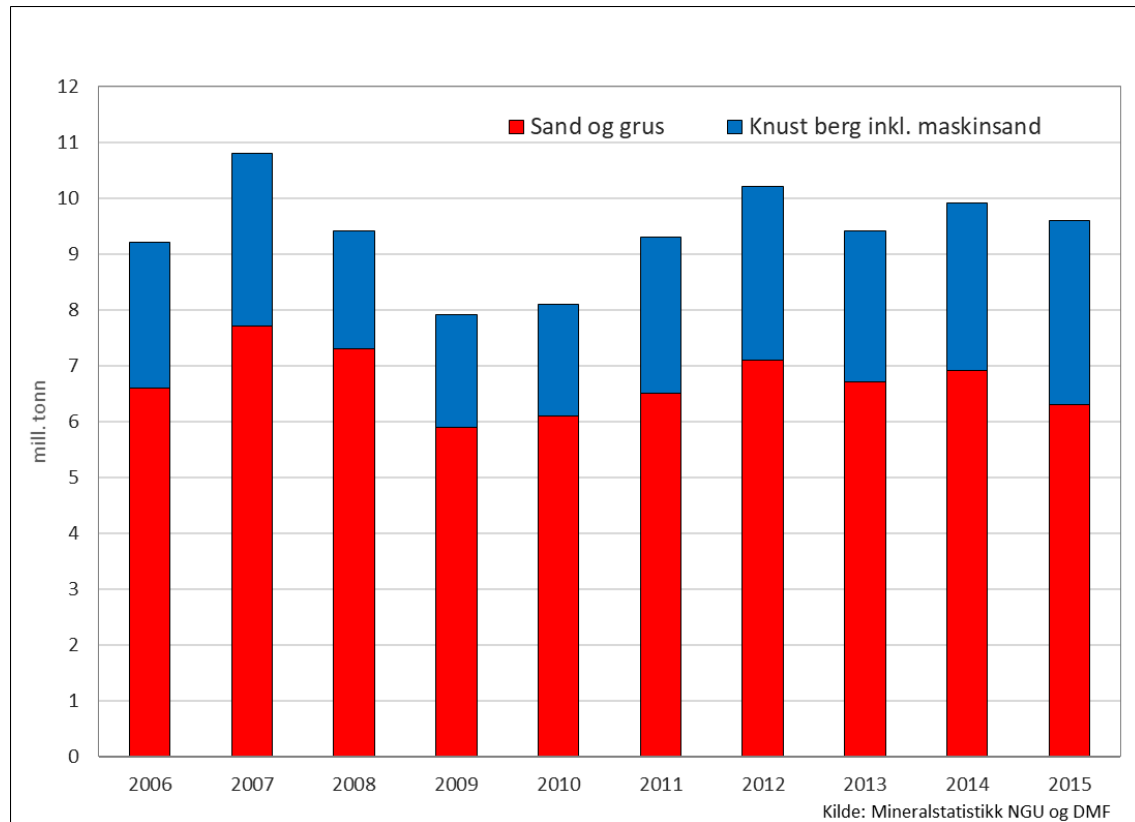
Figur 3-3: Kommunevis fordeling av sand- og grusressurser i Norge etter tonnasje. (NGU)

NGU har gjennom en lengre tidsperiode hentet inn produksjonsdata over tilslagsmaterialer. Fram til ca. 1990 dominerte bruken av sand og grus generelt til alle typer byggeformål. Fra midten av 90-tallet økte produksjonen av pukk betydelig, noe som skyldtes at etterspørselen fra andre europeiske land økte. Flere aktører eksporterte større mengder ut av landet, og trenden er fortsatt økende. Uttak og produksjon av sand og grus hadde en nedgang rundt år 2000, men har ligget stabilt etter det. Figur 3-4 viser utviklingen for produksjon av sand, grus og knust berg (inkludert maskinsand) i Norge fra 1975 fram til 2020. Tallene inneholder også eksportert tilslag.



Figur 3-4: Produksjon av sand, grus og knust berg i Norge inklusive eksport, fra 1975 til 2020. (NGU og DMF)

NGUs statistikk viser at 16 %-18 % av Norges totale forbruk av sand, grus og pukk anvendes til betongformål årlig. Sand og grus dominerer fortsatt, da drøyt 70 % av betongtilslaget består av naturlige løsmasser. Denne trenden bygger på mineralstatistikk over en lengre periode, se Figur 3-5.



Figur 3-5: Anvendelse av sand, grus og knust berg til betong i Norge fra 2006 til 2015. (NGU og DMF)

3.3 Bestandighet

3.3.1 Kritiske bergarter for bestandighet

Enkelte bergarter har en mineralsammensetning og/eller krystallstruktur som gjør at de kan bli ustabile i det kjemiske miljøet som finnes i betong. Sammen med ytre eksponeringsbetingelser, først og fremst fukt og temperatur, kan dette gi utfordringer mht. betongens bestandighet (nedbrytning, ekspansjon). Den viktigste problemstillingen i Norge når det gjelder bergarter og bestandighet er alkalireaksjon. De senere årene har det også vært økende oppmerksomhet på eventuell nedbrytning som følge av sulfidmineraler i tilslaget. Bergartenes fysiske egenskaper og forurensninger i geologiske avsetninger kan også ha direkte innflytelse på tilslagets langtidsegenskaper.

3.3.2 Alkalireaksjon

Alkalireaksjon i betong er en kjemisk – fysisk reaksjon mellom sement og tilslagsmaterialer i betong. Den høye pH i betongen fører til at visse typer kvartsmineraler i noen bergarter kan løses opp over tid og det dannes en alkali-gel. Denne gelen er hygroskopisk, som betyr at den har stor evne til å oppta fuktighet. Gelen sveller da og utvider seg. Dette kan føre til ekspansjoner i betongkonstruksjonene med lokale tilleggslaster, oppsprekking (krakelering) og deformasjoner som resultat. Betongens bæreevne kan dermed også bli redusert. I tillegg kan dette åpne betongen for andre nedbrytende prosesser. Det er vanskelig å stoppe reaksjonen når den først har startet, og skadeutvikling vil kunne kreve omfattende reparasjoner, både grunnet alkalireaksjon og følgeskader av oppsprekking (frostskader, armeringskorrosjon). Under norske forhold (langsomtreagerende bergarter og kjølig klima)

utvikler skadene seg sakte, og det kan ta mange år før man ser begynnende rissdannelse eller krakelering. Ved økt temperatur og fuktighet vil reaksjonen kunne skje mye raskere. En forutsetning for reaksjonen er at betongen er eksponert i et fuktig miljø med en relativ fuktighet større enn 75-80%.

Thomas Stanton oppdaget i 1940 alkalireaksjon i betong i California forårsaket av «hurtig reagerende bergarter/mineraler» (opal) som ikke forekommer i Norge. I slutten av 1980 tallet ble det dokumentert forekomst av alkalireaksjon i norske betongkonstruksjoner forårsaket av «langsomt reagerende bergarter» (silikatbergarter) som nylig også var dokumentert i Canada. Dette ble vitenskapelig publisert i Viggo Jensens doktoravhandling i 1993. Kartleggingen av alkalireaksjon og dokumentasjonen av alkalireaktive bergarter samt utarbeidelse av geologiske kart over mulige alkalireaktive bergarter i Norge ble utført i perioden fra 1989 til 1996. Videre ble det i samme periode utviklet og dokumentert prøvingsmetoder, bl.a. petrografisk analyse, mørtelprisme- og betongprismemetoden som er egnet for norske forhold. Disse metodene danner grunnlag for det første norske regelverket om alkalireaksjoner i form av Norsk Betongforenings publikasjon nr. 21 som ble utgitt i 1996.

I Norge har flere bergartstyper gitt skadelige alkalireaksjoner. Dette gjelder både magmatiske, sedimentære og metamorfe bergarter. Alle norske, alkalireaktive bergarter tilhører typen som gir langsomme reaksjoner. En viktig type alkalireaktiv bergart er mylonitt og kataklasitt som er dannet ved dynamisk metamorfose (kataklase). Kataklase medfører en reduksjon i krystallstørrelsen og teksturendringer i kvartsholdige bergarter. Dette omdanner bergarten til å bli alkalireaktiv. Kataklastiske bergarter er utbredt i Norge og finnes for det meste i forskyvnings- og forkastningssoner.

Basert på dokumentasjon av reaktive bergarter i konstruksjoner, har man kommet frem til en bergartsliste, hvor man har gruppert bergarter i 9 klasser – se Tabell 3-2. Klasse 1-5 består av alkalireaktive bergarter, mens klasse 6-9 navngir bergarter som normalt ikke gir alkalireaksjoner.

Kartet i Figur 3-6 viser forekomsten av dokumenterte alkalireaktive bergarter, basert på bergarter som har reagert i et stort antall betongkonstruksjoner, og korrelert med et stort antall referansebergarter fra kjente lokaliteter i hele Norge. Kartet er videre dokumentasjon av alkalireaktive bergarter i bergartslisten vist i tabell 3-2. Kartet viser ikke utbredelsen av forkastnings- og skyvesoner hvor mylonitt og kataklasitt kan forekomme. Kartet i Figur 3-7 er basert på bergartsnavn fra klasse 1-5 fra Tabell 3-2, som er sammenstilt med NGUs oppdaterte berggrunnskart i målestokk 1:1,35 mill. fra 2021. Det er viktig å poengtere at disse dataene må brukes som grunnlag for videre analyser, og ikke som en fasit på reaktivitet i ulike deler av landet.

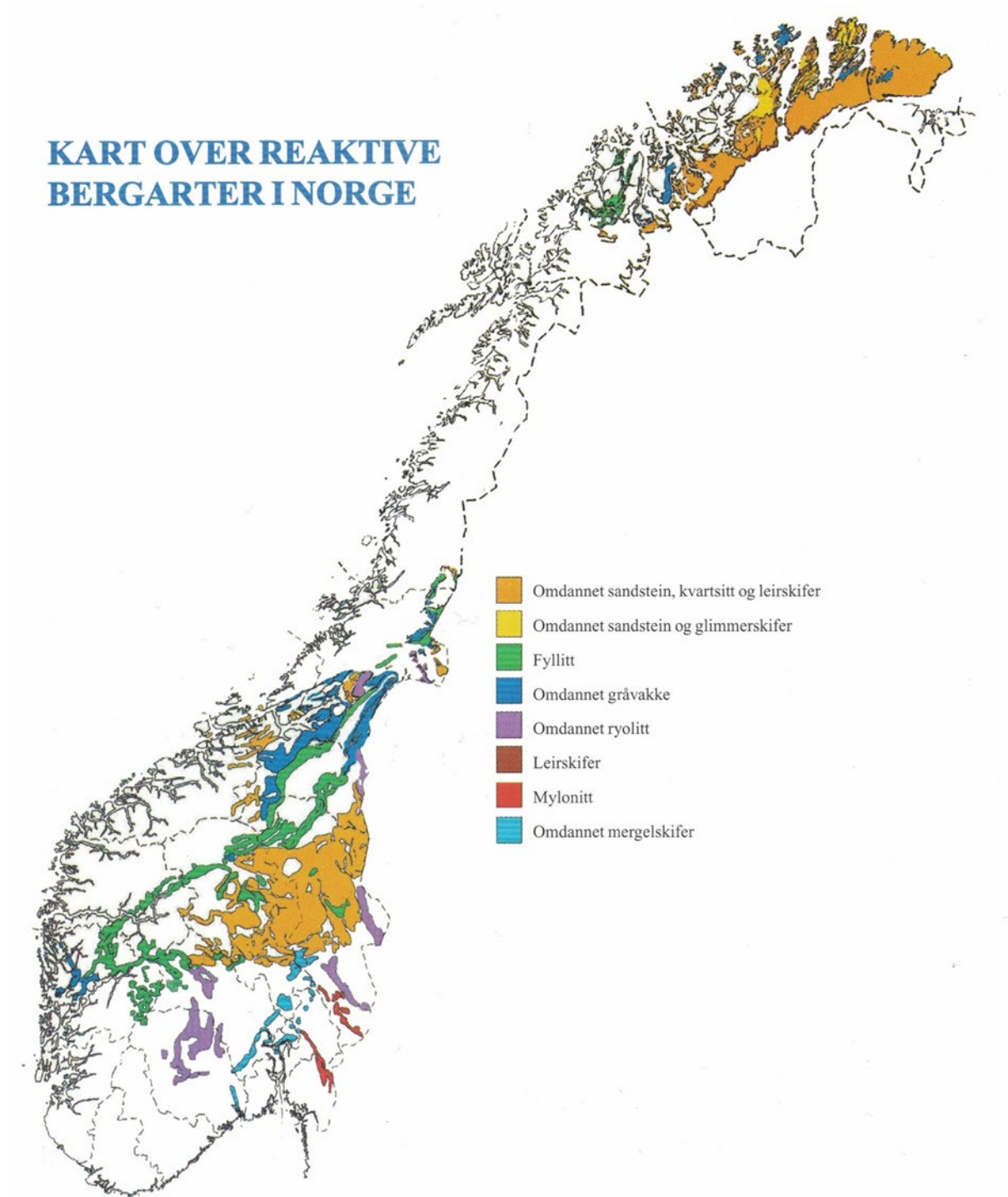
Vi har i dag et velfungerende regelverk nedfelt i Norsk betongforenings publikasjon nr. 21 (NB 21) som også er beskrevet i denne publikasjonen under pkt. 2.5.1. Beskrivelse av prøvingsmetodene er å finne i Norsk betongforenings publikasjon nr. 32 (NB 32). I Norge blir stort sett alt betongtilslag klassifisert for alkalireaktivitet utelukkende ved petrografisk analyse, som utføres ved punktelling i tynnslip. Det norske regelverket tillater at alkalireaktivt tilslag kan anvendes til betong, forutsatt at alkaliinnholdet i betongen ikke overstiger generell eller dokumentert verdi, se detaljer i NB 21. En svakhet ved regelverket er at det ikke skiller på grad av reaktivitet, og dermed heller ikke differensierer tiltakene (type bindemiddel og alkalimengde) i forhold til tilslaget reaktivitet.

Det er gjennom de siste tiårene gjennomført en rekke forskningsprosjekter, og en rekke mastergrader og doktorgrader innen dette temaet. Regelverket er basert på den viten vi har i dag om alkalireaksjon i Norge. Det pågår imidlertid stadig vekk forskning, blant annet på utlekking av alkalier fra tilslag. Det er nå erkjent internasjonalt at hovedsakelig feltspatmineraler over tid kan bidra med utlekking av alkalier i betong. Dermed kan det skje at en betong, som i utgangspunktet er bestandig, over tid utvikles til å bli alkalireaktiv i tilfeller hvor tilslaget inneholder feltspatiske bergarter. Man kan forvente økt utlekking av alkalier fra knust tilslag (maskinsand) i forhold til naturtilslag grunnet ferske kornoverflater og større spesifikt overflateareal pga. høyere andel finstoff.

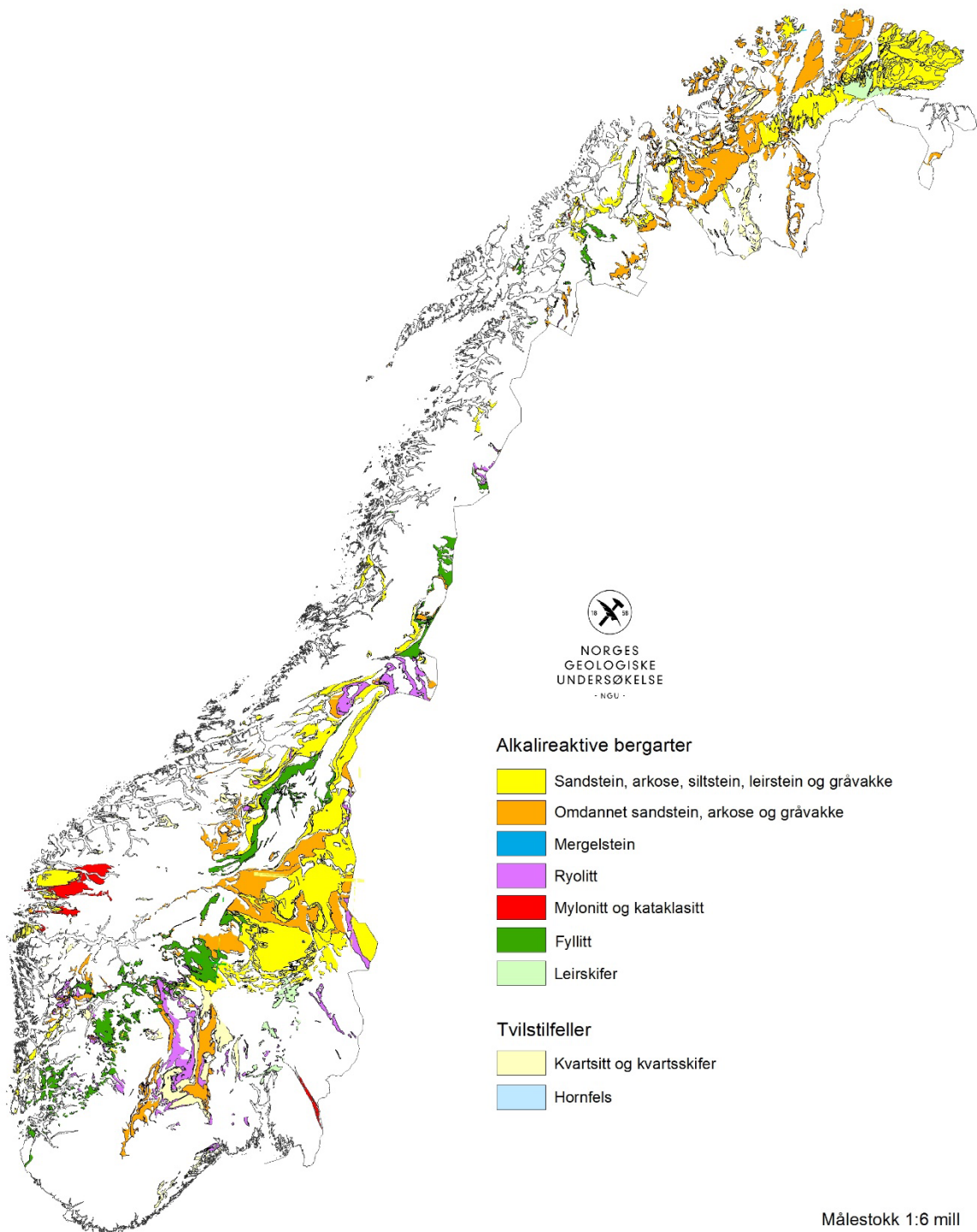
Tabell 3-2: *Bergartsliste over norske alkalireaktive bergarter, tvilstilfeller og ikke alkalireaktive bergarter. NB 32.*

ALKALIREAKTIVE BERGARTER <i>(Er ofte observert å reagere i betongkonstruksjoner)</i>	TVILSTILFELLER <i>(Er i noen tilfeller observert å reagere i betongkonstruksjoner)</i>	IKKE-ALKALIREAKTIVE BERGARTER
<p>1. SEDIMENTÆRE BERGARTER</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sandstein • Arkose • Kvartssandstein • Leirstein (også skifrig) • Siltstein (også skifrig) • Mergelstein-/skifer <i>(også omdannet)</i> • Gråvakke <i>(også omdannet)</i> <p><i>Det forutsettes at det observeres sedimentære trekk</i></p> <p>2. MYLONITT/KATAKLASITT (Kvartsholdige)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mylonitter • Kataklasitter • Mylonittgneis <p>3. LYSE, SURE VULKANSKE BERGARTER</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ryolitt • Kvartskeratofyr <p>4. ANDRE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mikrokrystallin kvartsitt • Fyllitt • Kvartsskifer 	<p>5. TVILSTILFELLER</p> <p>Eksempler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kvartsitt/kvartsskifer • Kvartsrik bergart <i>(kvartsinnhold >20 %)</i> • Kalkstein m/ urenheter <i>(urenheter - finfordelt kvarts)</i> • Hornfels • Lyse mylonitter med lite kvarts (1-5 %) 	<p>6. MØRKE BERGARTER</p> <ul style="list-style-type: none"> • Basalt • Grønnstein • Gabbro • Amfibolitt <p><i>(inkluderer alle mørke bergarter, også omdannede)</i></p> <p>7. KVARTSHOLDIGE BERGARTER</p> <ul style="list-style-type: none"> • Granitt/Gneis • Kvartsitt-/skifer • Glimmerskifer <p>8. FELTSPATISKE BERGARTER</p> <p>9. ANNET/UIIDENTIFISERT</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kalkstein <i>(ren)</i> og marmor • Andre ikke alkalireaktiv <i>(også frikom)</i> • Porfyrer • Kvartsfrie mylonitter
<p>Typisk kornstørrelse for kvarts < 60 µm (unntak: Sandstein)</p>	<p>Typisk kornstørrelse for kvarts 60 - 130 µm</p>	<p>Typisk kornstørrelse for kvarts > 130 µm, eller kvarts ikke tilstede</p>

Bergartsnomenklatur; Gjelle og Sigmond, 1994: Bergartsklassifisering og kartfremstilling. Norges geologiske undersøkelse, Skrifter 113.



Figur 3-6 Kart over dokumenterte alkalireaktive bergarter i Norge. Omriss av geologiske grenser og tegnforklaring er tegnet på grunnlag av det geologiske berggrunnskart over Norge, 1: 1 million, NGU, 1984. Viggo Jensen 1996.



Figur 3-7: Kart over dokumenterte og ikke-dokumenterte alkalireaktive bergarter i Norge basert på bergartslisten i Tabell 3-2 og NGUs berggrunnskart i målestokk 1:1,35 mill. fra 2021.

3.3.3 Sulfatangrep

3.3.3.1 Generelt

Sulfatangrep forekommer når sulfationer reagerer med bestanddeler i betongens sementpasta. Sulfatangrep kan gi stor ekspansjon, og kan i verste fall totalt bryte ned sementpastaen. Sulfationer kan trenge inn i betongen eksternt f.eks. i marine miljøer eller fra sulfatholdige omgivelser. I Norge er det kjent at betongkonstruksjoner beliggende i alunskiferområder f.eks. i Osloområdet kan være utsatte for sulfatangrep. I tilfeller hvor tilslaget inneholder kalkstein eller kalksteinsfiller kan sulfationene reagere med kalsiumioner og danne mineralet thaumasitt, og da kan sementpastaen i verste fall bli totalt oppløst (thaumasitt sulfatangrep).

Sulfationer kan også dannes internt inne i betongen f.eks. hvis tilslaget er sulfatholdig (gips) eller ved oksidasjon av sulfidmineraler i tilslaget med dannelse av sulfationer. For betongtilslag er sulfatangrep forårsaket av oksidasjon av sulfidholdige tilslag aktuelt. Magnetkis er antatt å være det mest reaktive mineralet. Generelt kan det sies at risikoen for sulfider, og spesielt magnetkis, er størst i tilslag fra knust berg. I tilslag produsert fra løsmasser har materialet vært transportert med is eller vann over større avstander, og lett nedbrytbare mineraler som de fleste sulfider har da blitt oksidert og vasket ut av tilslaget.

Høye herdetemperaturer over 70°C, f.eks. i massive betongkonstruksjoner, kan resultere i forsinket dannelse av sulfatmineralet ettringitt i sementpastaen, med fare for økt volum og oppsprekking av betongen.

3.3.3.2 Magnetkis

Internasjonalt har det vært kjent siden 1950-årene at sulfidholdige tilslag (kismineraler) kan bidra til nedbrytning av betongkonstruksjoner. Det har vært rapportert saker fra en rekke land, hvor først og fremst mineralet magnetkis (Fe_{1-x}S) har blitt identifisert som en hovedårsak til problemene. Magnetkis kan opptre i flere ulike former, og det er uavklart hvilke varianter som kan utgjøre et reelt problem i betong. Magnetkis kan reagere når det er vann og oksygen til stede. Dette fører til oksidasjon der det dannes sulfationer (SO_4^{2-}), svovelsyre og jernoksidhydroksid. Svovelsyre reagerer med portlanditt og det dannes gips. Gips reagerer med kalsiumaluminathydrater i sementpastaen og det dannes ettringitt. Spesielt dannelsen av ettringitt, men til dels også dannelse av jernoksidhydroksid, vil føre til ekspansjon og oppsprekking. I tillegg kan man få dannelse av mineralet thaumasitt i fuktig og relativt kaldt miljø (< 15°C) ved samtidig god tilgang på karbonationer fra CO_2 eller kalsiumkarbonat. Thaumasittdannelse fører til svekkelse eller omvandling av sementpastaen, vanligvis uten stor ekspansjon.

Internasjonalt, og da først og fremst i Nord-Amerika og Irland, er det rapportert en rekke prosjekter med nedbrytning av betongkonstruksjoner hvor årsaken tilskrives magnetkis. I Norge er en slik sammenheng foreløpig usikker og håndteres i grunnleggende forskning. Inntil videre baseres godkjenning av tilslaget på innholdet av svovel (se kap. 2) sammen med påvist tilstedeværelse av magnetkis.

Målsetningen med pågående forskning er å få sikrere prosedyrer og metoder for å bestemme innhold av magnetkis og andre sulfidmineraler, å utvikle pålitelige prøvingsmetoder for å bestemme

skadepotensialet i betong, og på sikt å kalibrere grenseverdiene for ulike prøvingsmetoder i regelverket.

I Norge er det et bredt spekter av bergarter fra hovedsakelig knust berg som i enkelte tilfeller ikke tilfredstiller kravene i NS-EN 12620 + NA (se kapittel 2) pga. et for høyt innhold av sulfider (spesielt magnetkis). I dag er det flere tilslagsforekomster som ikke oppfyller kravene til totalt svovel og som samtidig inneholder magnetkis. Av den grunn kan de ikke anvendes som betongtilslag. Det er også flere eksempler på nye forekomster og materialer fra infrastrukturprosjekter som ikke kommer i drift eller ikke anvendes som betongtilslag pga. et for høyt svovelinnhold i forhold til dagens regelverk.

3.3.3.3 Svovelkis

Svovelkis (FeS_2) forekommer ofte i mindre konsentrasjoner i norske tilslag, noen ganger sammen med magnetkis og andre sulfidmineraler. I tilfeller hvor betongen er eksponert i fuktig miljø kan svovelkis gi misfarging på betongoverflater og/eller «pop-outs» men dette er som regel kun et estetisk problem. Et høyt innhold av svovelkis i tilslaget, f.eks. ved bruk av avgangsmasser eller deponerte masser fra mineralutvinning, kan derimot gi skader i betong.

3.3.3.4 Gips

Mineralet gips ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) forekommer ikke naturlig i Norges berggrunn, men kan forekomme som forurensing i resirkulert tilslag. Derimot er gips et stort bestandighetsproblem i mange land f.eks. i Midtøsten. Betongtilslagsstandarden krever at tilslagets sulfatinnhold bestemmes og derved også en indikasjon på et evt. innholdet av gips.

3.3.4 Fryse-tine nedbrytning

Tilslag kan nedbrytes av fryse-/tineprosesser hvis betongen eksponeres i et fuktig eller vannmettet miljø. Risikoen for frostskaider økes betydelig når betongen utsettes for sjøvann eller avisingsalter. Under frysing kan «porøse vannholdige» tilslag øke volumet inne i betongen (vann utvider seg opp til 9 %) og derved initiere riss og sprekke-dannelser i den omgivende sementpasta. Generelt klassifiseres tilslag med vannabsorpsjon ≤ 1 % som frostbestandige. For mer porøse tilslag med vannabsorpsjon > 1 % kreves det mer dokumentasjon enten i form av lang felterfaring eller ved særskilt laboratedokumentasjon, se kapittel 2 for detaljer. Porøst grovt tilslag i og nær betongoverflater kan medføre kjegleformede frostsprengninger i overflaten f.eks. fra leirstein. Erfaring har vist at de fleste norske tilslag er frostbestandig i betong.

3.3.5 Aurhelle, humus og andre forurensninger

Aurhelle er en form for forurensning som kan forekomme i topplaget av enkelte løsmasseforekomster. Aurhelle vil da kunne være en blanding av leire, jord, humus og jern/rustutfellinger - som klumper eller tynne lag. I betong kan dette resultere i partier med «pop-out», lokal svelling og misfarging. Aurhelle kan om mulig unngås med grundig inspeksjon av uttaksstedet slik at driften kan planlegges deretter. I tilfeller hvor utseendet av betongoverflaten er viktig, f.eks. betonggulv eller slipte overflater, kan selv små mengder av slik forurensning påvirke overflaten. Også jernsulfider kan forårsake misfarging eller utsprengning i betongoverflater, se kapittel 3.3.3.

Høyt innhold av humus kan forekomme i øvre lag av sandforekomster, og kan øke størkningstiden og redusere trykkfastheten av betongen.

Det kan også stedvis i sand/grusavsetninger forekomme fremmedlegemer i form av fysisk svake/gjennomforvitrede og/eller lette partikler (blant annet treflis). Innholdet av slike partikler kan bestemmes visuelt med et pålys-mikroskop. Det foreligger ikke akseptkriterier for dette, men det anbefales å godta verdier på kun noen få %.

3.3.6 Klorider

Klorid er ikke ønsket i betong da kloridioner kan medføre armeringskorrosjon i armerte konstruksjoner. Tilslag fra løsmasser og knuste bergforekomster inneholder ingen eller kun ubetydelige mengder klorid. Derimot kan marine forekomster og elfeforekomster i tidevannssonen inneholde klorid. For betongtilslag skal vannløselig klorid bestemmes og inngå i en beregning av betongens totale kloridinnhold iht NS-EN 206 + NA. For resirkulert tilslag skal syreløselig kloridinnhold bestemmes og evt. deklarerer. Statens vegvesen tillater ikke bruk av marine sedimenter.

3.3.7 Svelleleire

Svelleleire består hovedsakelig av leirmineralgruppen smektitt (bl.a. montmorillonitt). Smektitt kan dannes gjennom forvitring/omvandling av feltspatmineraler og har som egenskap å kunne ta opp (og friggi) store mengder vann med konsekvens at tilslaget og betongen sveller. Dette kan medføre volumøkning og rissdannelser med nedbrytning av betongen. Svelleleire kan forekomme bl.a. i bergartene basalt, andesitt, sandstein og kalkstein. Hos oss finnes smektitt helst i forkastningssoner i berget, og kan «forurense» tilslaget. Innhold av svelleleire kan bestemmes ved metylenblåttmetoden, se kapittel 2.

4 Produksjon og foredling av tilslag

4.1 Tilslag fra mineralske råstoffer

Tilslag kan produseres fra løsmassetak av natursand og -grus, eller som knust stein og knust sand i et pukkverk. Løsmassetak har gjerne en andel stein og blokk som går til knusing, slik at sluttproduktet ofte er en kombinasjon av natursand/-grus og knust stein/blokk. Knuste steinmaterialer kan også ha utgangspunkt i sprengstein fra bergskjæringer eller bergrom, se kap. 4.2. Dessuten kan filler produseres i egne mølleanlegg (f.eks. kalksteinsfiller) – som alternativ til utsikting av finstoff av en tilslagsproduksjon. Selv om det de senere årene har vært en nedbygging av sandressurser og samtidig også en betydelig utvikling i produksjonsteknologi for knuste materialer, er sand fra naturlige sand/grusforekomster fortsatt et foretrukket alternativet for fint tilslag hos de fleste aktører. Derimot er de grovere tilslagsfraksjonene (> 4 mm, eventuelt > 8 mm) i betydelig grad knust berg eller knust overstein fra løsmasseforekomster.

4.1.1 Produksjon av naturtilslag (natursand og grus)

Tabell 4-1 viser produksjonstrinnene ved framstilling av tilslag fra en sand-/grusforekomst, samt betydningen disse kan ha for det ferdige produktet. Egenskapene til sand/grus (naturtilslag) er i vesentlig grad bestemt av de geologiske avsetningsbetingelsene som var til stede den gang innlandsisen smeltet og smeltevannet dannet forekomster, se kapittel 3.2.2.

Tabell 4-1: Produksjonstrinn av sand og grus-tilslag og betydning av trinnene

Produksjonstrinn, sand/grus	Metode	Produkt	Betydning for egenskaper
1 Rensk	Fjerning av vegetasjon og topplag/jord, samt synlige forurensninger, bl.a. treflis, leirklumper og svake, forvitrede korn	Ren stuff, uten jord/humus og andre forurensninger	Rene sand-/grusmasser uten jordforurensning er viktig for å unngå høyt humusinnhold og langsom fasthetsutvikling. Viktig å unngå trefliser som kan ødelegge betongoverflater, samt leirklumper og forvitrede korn som kan gi fasthetsreduksjon.
2 Uttak	Hjullaster eller gravemaskin, sjeldnere doser. En annen form for sanduttak er utvinning fra undersjøiske forekomster. Vanlig driftsform i flere europeiske land, men ikke i Norge.	Sams sand/ grus-/steinmasse	Jevnhet i uttatte masser, og operatørens erfaring og evne til å kombinere materiale fra ulike deler av en forekomst er viktig både mht. å oppnå jevn kvalitet på produsert tilslag, og god økonomi i driften.

Produksjonstrinn, sand/grus	Metode	Produkt	Betydning for egenskaper
3 Grovsikting	Grovsikt som mates av hjullaster	Sand/grus hvor stein og blokk er frasiktet	Her er formålet først og fremst å få fraskilt den (høyst variable) delen av forekomsten som består av så grov stein at den enten må deponeres eller i sin tur knuses.
4 Sortering/vasking	Sand og grovere grusmasser siktes, og vaskes eventuelt ved behov. Vaskede masser kan trenge avrenning	Salgbare tilslagssorteringer f.eks. 0/8 mm, 8/16 mm, 16/22 mm	Viktige tilslagssegenskaper for betong blir styrt av dette produksjonstrinnet; gradering renhet/forurensning, finstoffinnhold, eventuelt glimmerinnhold
5 Knusing av overstein	Overstein (fra trinn 3) kan eventuelt knuses og tilbakeføres til trinn 4	Fraksjonerte knuste materialer kan enten selges som selvstendig produkt, eller inngå sammen med sand/grus (fra trinn 4) i tilslagsproduktene	Kombinasjonen av egenskapene nevnt under trinn 4 og mulighetene som gis ved knusing/innblanding av knust materiale kan være viktig. Her er det mulig å forbedre egenskaper gjennom endret gradering og kornform, samt å gi bedre massebalanse (og bedre driftsøkonomi)
6 Intertransport	Transportbånd, hjullaster, dumper	Viktig at transporten legges opp på en måte som unngår forurensning av treflis, jord og andre tilslagsfraksjoner	All transport og lagring må legges opp slik at lagerseparasjon eller forurensning unngås De vanligste måtene å transportere/lagre: <ul style="list-style-type: none"> • Transportbånd til marklager, utfordring mht. separasjon, særlig ved lange fraksjoner, tørre masser og mye finstoff • Oppbygging av «bløtkakelager» med hjullaster/doser, utfordring med slam /nedknusing under hjul/belter mellom lagene • Silolagring, utfordring mht. heng i silovegger og separasjon, især ved høy fukt
7 Lagring	Ut fra lokale forhold og marked; silo, marklager eller «bløtkakelager» (lagvis lagring for å unngå separasjon)	Salgbare tilslagsmaterialer i aktuelle fraksjoner	

Produksjonstrinn, sand/grus	Metode	Produkt	Betydning for egenskaper
8 Opprydding og tilbakeføring	Terreng og landskap skal tilbakeføres og etterlates i en form som skal være planlagt og avtalt/godkjent før massetaket ble etablert. Midler til dette skal være avsatt. Dersom området skal tilbakeføres til jordbruksformål skal matjord være deponert, og det skal være kontroll med avstanden over grunnvannsnivå. Alle stuffer skal være nedarondert til sikre, stabile skråningsvinkler. Alt avfall og all forurensning skal være fjernet før massetaket avsluttes permanent		

4.1.2 Produksjon av tilslag fra knust berg

Tabell 4-2 viser produksjonstrinnene ved framstilling av tilslag fra knust berg, samt betydningen disse kan ha for det ferdige produktet. Omfanget og kompleksiteten av en produksjonsprosess for knuste materialer varierer og avhenger både av egenskapene til det steinmaterialet som skal knuses (bergartsbestemt, se kapittel 3.2), av kravene til sluttproduktet, og av størrelse, kostnadsforutsetning og omfang av tiltaket. I tabellen er det lagt inn en omfattende prosess med 4 knuse- og siktetrinn. Dette er basert på en stor, industriell prosess med sikte på høy kvalitet på sluttproduktet og stort produksjonsvolum. Enklere, mindre produksjon med lavere kvalitetsnivå og volum vil gjennomføres med færre produksjonstrinn.

Tabell 4-2 Produksjonstrinn av tilslag fra knust berg og betydning av trinnene

Produksjon av knust tilslag	Metode	Produkt	Betydning for egenskaper
1 Rensk	Fjerning av vegetasjon og topplag/jord, samt tydelig forvitrede lag	Rene og homogene bergflater	Jordforurensninger kan gi humusinnhold, og forvitret berg kan influere på fastheten
2 Sprengning og uttak	Boring, sprengning, opplasting, transport, mellomlagring	Sams masse, sprengstein	Avhengig av gjennomført sprengning kan det oppstå riss som kan medføre redusert fasthet, samt betydelige mengder uønsket finstoff.
3 Knusing K1	Grovknusing, kjeft- eller spindelknuser	Grove fraksjoner, knust, usortert stein, til videreproduksjon.	Knusestrinn 1 gir normalt en primærsubbus (0/22, 0/32 mm) og kult (22/125, 22/180, 32/180 mm), som eventuelt kan benyttes til vegbygging. Det er også inngående materiale i den videre knuseprosessen.

Produksjon av knust tilslag	Metode	Produkt	Betydning for egenskaper
4 Knusing K2	Knusing, mellomtrinn, kon- eller spindelknuser	Grove og finkornige sorteringer samt finstoff	Tilslaget begynner å få akseptabel kornform og mekaniske egenskaper kan bedres. pga. bedre kornform. Det er heller ikke uvanlig å ta ut ferdigvarer på dette trinnet, og i mange tilfeller tilfredsstillende tilslaget lavere kvalitetskrav.
5 Knusing K3	Finknusing, konknuser	Fine pukksorteringer over 4 mm, evt. også <4mm hvis det ikke er særlige krav til kubisitet	Tilslaget har god kornform og gode mekaniske egenskaper. Største andelen av tilslag ansees som ferdigvare etter dette trinnet. De aller fleste svake/meget svake korn er knust ned til finstoff og tilslaget har god motstand mot nedknusing.
6 Knusing K4	VSI («Vertical Shaft Impactor»), bl.a. ved produksjon av maskinsand	Maskinsand (f.eks. 0/2 eller 0/4 mm, kan også ta ut smalere fraksjoner som 2/4 mm)	Fint tilslag får god kubisitet og egner seg i betong. Ulempen kan være at det produseres mye finstoff.
7 Sikting/ sortering, grove fraksjoner	Tørresikting, gjerne vibrasjonssikt	Grove pukksfraksjoner (> 8 mm)	Grove pukksfraksjoner gir som oftest gode sikteresultater ved tørresikting. Resultatet av en sikteprosess er blant annet avhengig av fuktinnhold og kornform – fuktig materiale og skarpkantet/flisig materiale reduserer siktekapasiteten og fordrer større sikteflater. Hvis produktet har mye flisig materiale kan det være en fordel å benytte langmasket duk.
8 Sikting/ klassifisering, finfraksjoner	Tørresikting (vibrasjon), vindsikting, vasking/ våtsikting	Fine pukksfraksjoner (< 8 mm) og maskinsand (0/2 eller 0/4 mm)	Tørresikting av finkornige, knuste masser (< ca. 8 mm) gir sjelden godt sikteresultat. Med tørt materiale (fukt < 1 %) har det vist seg at vindsikting kan være en god

Produksjon av knust tilslag	Metode	Produkt	Betydning for egenskaper
			løsning. Det er også et alternativ, særlig ved fuktig materiale, å bruke våtsikting eller klassifisering ved hjelp av en eller annen type hydrosyklon.
9 Transport, lagring	Oppkjøring i marklager («bløtkakelager») eller siloer	Ferdige salgbare produkter	Lagring og transport er en vanlig faktor for kvalitetsforringelse av ferdigvarer. Det er særlig viktig å bygge opp tilslagslagrene på en måte som hindrer separasjon. Knuste finfraksjoner (lange fraksjoner) er særlig utsatt for separasjon, derfor vil man vanligvis ønske å fukte finfraksjonene til ca. 2-3 % for å unngå separasjon.

4.1.3 Sprengning og uttak

Etter rensk og fjerning av topplag, er boring og sprengning første prosenstrinnet i forbindelse med produksjon av knust tilslag fra fast berg.

Opgaven til bore- og sprengeprosessen er å få opp et steinmateriale som best mulig økonomisk lar seg knuse ned til tilslag. Ikke minst er det viktig å få minst mulig av henholdsvis over- eller underfraksjoner.

De viktigste faktorene som styrer sammensetningen av sprengsteinen er:

- Bergart
- Borhullsmønster
- Borhullsavvik
- Sprengstofftype – detonasjonshastighet

Lokale forhold vil ofte begrense valgmulighetene i en sprengningsprosess. Eksempelvis vil tunnelsprengning gjerne ta sikte på mer finkornet materiale, og dermed også gi mer finstoff, enn det man tar sikte på i et pukkverk. På den annen side er det ønskelig å redusere sprengningsrystelser nær bygninger, noe som da kan gi grovere sprengstein. Boring og sprengning vil også påvirke hvor mye finstoff som produseres, også gjennom den etterfølgende knuseprosessen. En vesentlig andel av finstoffproduksjonen skjer i volumet rundt borhullene, og dette gjør at borhullsavvik hvor to borhull blir liggende nær hverandre resulterer i uønsket høyt finstoffinnhold.

Oversprengning (for kraftig lading) kan i tillegg til høyt finstoffinnhold også resultere i oppsprekking av berget rundt (med konsekvenser for bergartens mekaniske egenskaper). På den annen side vil

undersprengning resultere i grov sprengstein og høyere blokkinnhold, som igjen gir økte knusekostnader.

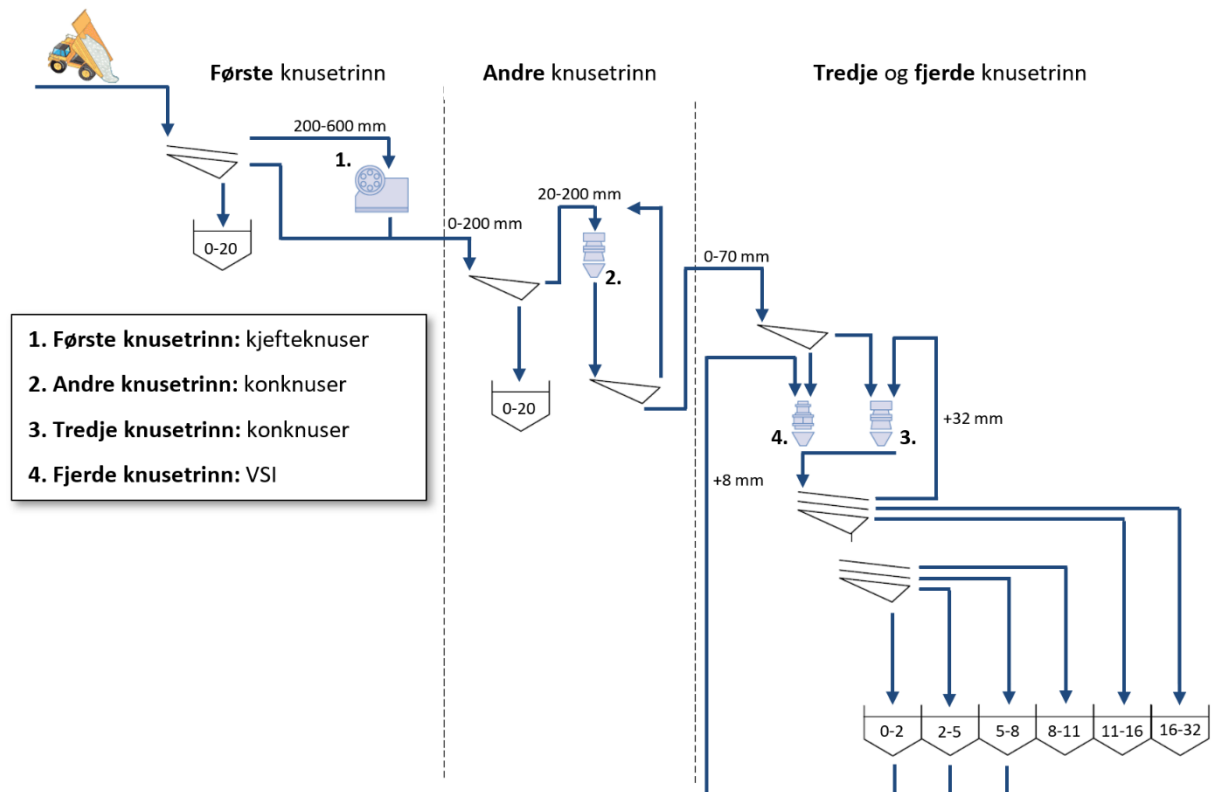
Det er viktig at borhullsmønster og sprengstofftype tilpasses til såvel den aktuelle bergarten, de geografiske betingelsene, den forutsatte knuseprosessen og de fraksjonene man sikter på å produsere. Bruk av standardoppsett som ikke tar hensyn til disse parameterne kan lett bli kostbart.

Det er også viktig å være klar over at rammebetingelsene for sprengningsarbeider er styrende for hvilket produkt man kan få ut: Det er stor forskjell mellom å sprengte store, godt planlagte salver i et kartlagt pukverk og å foreta sprengning av veiskjæringer og tomter. Enda mer utfordrende er sprengning i tunneler og bergrom. Her må man også håndtere bergartsmessig usikkerhet i forbindelse med bundet linjeføring. Tunneldriving ved bruk av TBM (tunnel-bormaskin) gir gjerne et flisig materiale som kan være problematisk å videre bearbeide for å bruke som betongtilslag.

4.1.4 Knuseprosesser

Produksjonsprosessen innebærer flere trinn av størrelsesreduksjon. Antallet trinn avhenger av ønsket sluttprodukt og av steinens egenskaper. Dette omfatter knusing, transport (hovedsakelig på transportbånd eller med hullaster), størrelseskontroll (hovedsakelig via sikter, tidvis også klassifikasjonsutstyr). Et typisk flytskjema for et knuseanlegg for produksjon av knust tilslag til betong vises i Figur 4-1. Knusetrinnene benevnes gjerne: **K1**, **K2** og **K3**, noe som er vanlig for de fleste slike knuseanlegg, samt eventuelt et endelig **K4** trinn. Se også Tabell 4-2. Illustrasjon av knusetyper er vist i Vedlegg 1. Det skal også bemerkes her at flytskjemaet i Figur 4-1 kun er et eksempel. Det er mange andre muligheter for hvordan produksjonsoppsettet kan organiseres avhengig av bergart, ønsker for egenskaper til sluttproduktene og produksjonskapasitet.

K1 har som formål å redusere sprengt stein til partikler på mindre enn rundt 200 mm. **K2s** formål er å videre redusere størrelsen på produktet til 70 mm eller mindre. **K3** skal så ta produktet ned til partikler på rundt 32 mm eller mindre. Knusingen i **K1** gjøres for det meste ved hjelp av kjefteknuser eller en større spindelknuser. Konknusere brukes vanligvis i **K2** og **K3**, og tar seg av mesteparten av størrelsesreduksjonen. Moderne høyhastighets konknusere anvendes gjerne som **K3** i velutformede tilslagsfabrikker, hvor det er stort fokus på formen til grove tilslagspartikler. Avhengig av bergart, anses slik veltilpasset tretrinnsknusing å gi tilstrekkelig gode kornformegenskaper (flisighetsindeks FI på 15 % til 20 %) for de fleste størrelsesfraksjoner større enn ca. 4 mm til 8 mm.



Figur 4-1 Flytskjema for et standard prosessanlegg brukt til å produsere knust stein og sand av høy kvalitet

I tilfeller hvor det er ønskelig å gjøre tilslaget mer kubisk, også innen størrelsesspekeret for sand, vil **K4** bli introdusert. I **K4** brukes vanligvis en "Vertical Shaft Impactor (VSI)" knuser (se Vedlegg 1) - også kalt en "kubisator". VSI-knuseren bidrar ikke til å redusere størrelsen på partiklene i særlig grad, men benyttes for å forbedre partiklenes kubisitet, også for partikler mindre enn 8 mm.

4.1.5 Sikting og sortering

De grovere fraksjonene ved produksjon av både knust og naturtilslag siktes ut og benyttes i «korte» sorteringer som f.eks. 4/8, 8/16, og 16/22 mm. Dette er i hovedsak sorteringer mellom to tilgrensende sikter, hvor fokus i stor grad er på over- og underkorn i forhold til deklart sortering. Dersom det grove tilslaget også består av knust overstein, eller det er et knust produkt, blir også kornform (kubisitet) et fokusområde. Flisig, skarpkantet materiale kan gjøre det nødvendig å benytte stavsikt for å få ut et produkt med ønsket kornform. Naturgrus kan i noen situasjoner også vise seg å ha behov for vasking. Dette kan være tilfellet hvis det er leirinnhold i forekomsten, eller silt-/leirbelegg på kornoverflatene. Vasking av grove fraksjoner gjøres gjerne som enkel trykkspyling over sikt. Utsikting av grovt tilslag fra både naturforekomster og knust berg gjøres i all hovedsak som standard tørrsikting med vibrasjonssikt.

Når det gjelder graderingskontroll og -tilpasning av sandfraksjonene, materialet < 4 mm, eventuelt < 8 mm, blir bildet litt mer komplisert, og prosessen forskjellig mellom hhv knuste materialer og natursand/-grus.

For natursand benyttes i Norge gjerne sorteringen 0/8 mm. Mye brukte forekomster har tradisjonelt hatt en 0/8-gradering som har vært godt egnet i forhold til norsk betongpraksis. Slike materialer har

også vist seg stabile og med gunstig kornform. Naturmaterialene har dessuten litt høyt vanninnhold slik at «tørr»-siktning for mer finkornige fraksjoner (< 4 mm) ofte vanskelig lar seg gjøre. Gradering må dermed ofte tas som en geologibestemt egenskap i en gitt forekomst, og aksepteres som en forutsetning ved betongproporsjoneringen. Noen typiske sandkurver er vist i kapittel 5.3.2. Men det er også mulig å gjøre endringer på sandkurven, noe som først og fremst kan være kostnadmessig aktuelt ved større forekomster og større uttaksvolum. Da er det først og fremst aktuelt med våtklassifisering, hvor bruk av hydrosykloner i dag er det som brukes mest. Hydrosykloner fungerer i prinsippet etter Stokes lov, ved at en andel av de fineste fraksjonene slemmes opp og vaskes ut. Det har også vært benyttet enklere utstyr, som skruer og sedimenteringsbasseng for å fjerne fine partikler og også leirinnhold.

Knust sand/maskinsand har i utgangspunktet en «tettere» gradering, og svært ofte et høyere finstoffinnhold enn natursand, se kapittel 4.1.2. Dette har sammenheng med hvordan materialet lages – i motsetning til natursand er maskinsand et industriprodukt. Med mindre man har benyttet et K4-trinn for kubisering vil også maskinsanden være mer skarpkantet, og i fraksjoner < 4 mm vil det også kunne være større flisighet. Det er viktig å være klar over at skarpkantet materiale, og særlig flisig materiale, fordrer større sikteflater enn rundet materiale. Forsøker man å tørrsikte fine maskinsandfraksjoner er det ikke uvanlig at man får tilgroing på siktene. K4-trinnet bidrar ikke bare med kubisering, men også til høyt finstoffinnhold. Dette har vært et av ankepunktene mot bruk av maskinsand i betong – et høyt finstoffinnhold med tilhørende utfordringer for betongproporsjonering, og også en tendens til lagerseparasjon. Det har derfor blitt utviklet et konsept for å kombinere K4-knusing med sandkurvejustering basert på vindsikt. Vindsiktning kan i enkel form ta ut ønsket mengde finstoff i bunnen av kurven ved å tilpasse luftstrømmen. Det er vanligvis materiale < ca. 2 mm som vindsiktes, og det er normalt fraksjonene 0-0,063 mm (finstoff) og 0,063-2 mm (finsand) som siktes ut. Dette kan da bli en prosess som tar ut akkurat nok til å få en god nok kurve, men det krever prosesstørr masse (ca. 1- 1.5 % fuktighet). I mer avansert form kan massene separeres i flere fraksjoner 0-0,063, 0,063-0,125, 0,125-0,250, 0,250-1 og 1-2 mm. Disse kan siden settes sammen til en ønsket kurve. Dette er mer krevende anlegg som trenger mange siloer og et doseringsanlegg.

4.1.6 Produksjon av tilslag med mobile anlegg

Utstyret som brukes til produksjon av tilslag kan organiseres i enten stasjonære eller mobile anlegg. I prinsippet er forskjellen at stasjonære anlegg har et fast sted i forekomsten, og alt utstyr er installert på permanente fundamenter. Mobilt utstyr til produksjon av tilslag består av flere helt selvforsynte enheter montert på en ramme som lett kan flyttes rundt i forekomsten, eller mellom forekomster, med en transportmekanisme (vanligvis hjul eller crawlere festet til rammen). Det er ingen generell forskjell når det gjelder typen av utstyret som kan festes til mobilenhetene sammenlignet med de som brukes på stasjonære fabrikker. Størrelsen og kapasiteten til utstyret på mobilenhetene er imidlertid vanligvis mindre. Mobilenhetene passer best når man ønsker å redusere interne transport- og veibyggekostnader i forekomster som ligger over et stort areal med relativt små årlige produksjonsvolumer, og dermed ha produksjonsanlegget nært uttaksstedet. Mobile enheter er også kostnadseffektive i midlertidig produksjonsvirksomhet, hvor tilslag blir produsert av materialet fra et byggeprosjekt, for eksempel fra et tunnelprosjekt. Mobilverk muliggjør dermed fleksibilitet og kapasitetsstøtte, og er uunnværlig i forbindelse med produksjon av «kortreist» tilslag. Hvis flytskjemaet og produksjonsprosessen på en mobilfabrikk er riktig utformet og riktige

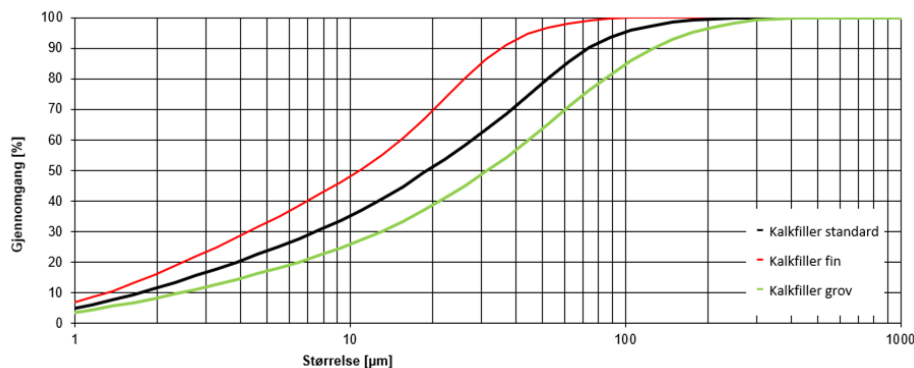
kvalitetsstyringsprosedyrer er på plass, er det ofte kun kapasitet som er forskjellig mellom mobile og stasjonære anlegg.

4.1.7 Massebalanse

En viktig utfordring for en tilslagsprodusent, ikke minst av knust tilslag, er å oppnå massebalanse mellom produserte og solgte sorteringer. Særlig finsorteringene (0/2 og 0/4 mm) kan det være utfordrende å finne avsetning for. Dette resulterer ofte i uønsket deponering av overskuddsmasser. Et bredt produktspekter som muliggjør avsetning til flere formål (som betong, mørtel, asfalt og veibygging) kan gi viktig bidrag til massebalanse.

4.1.8 Fillerproduksjon

Filler er produkter som kan produseres ved ordinær knuseprosess (se kapittel 4.1.2) eller ved maling i ønskede fraksjoner. Typiske mølleprodukter er på basis av kalkstein og dolomitt, som er lett malbart og med et lavt energiforbruk. Produksjonsprosesser er vanligvis kule mølle- eller valsemøllesystemer. Det er vanlig å benytte filler i kornstørrelsesområdet til sement (Figur 4-2). Filler fra finfraksjonen i en ordinær knuseprosess, eller som overskuddsfinstoff i prosessen har en mindre kontrollert og tilpasset sammensetning enn materialet fra en industriprosess.



Figur 4-2: Typiske partikkelfordelinger for kalksteinsfiller (standard, fin, grov)

4.2 Tilslag fra materialgjenvinning

Ut over de tradisjonelle tilslagstypene naturtilslag og knust tilslag fra sandforekomster og pukkverk, har det de senere årene blitt mer vanlig å utnytte forskjellige former for sekundære materialer basert på overskuddsmasser fra anlegg og infrastrukturprosjekter, resirkulerte eller gjenvunnede materialer, og også mer foredlede produkter med tilsiktet spesielle egenskaper. Utviklingen og bruken av slike produkter er motivert av at tilgangen på naturlige tilslagsressurser, ikke minst natursand, avtar i sentrale markeder, med arealbrukskonflikter og store transportkostnader som konsekvens. Et annet argument for utnyttelsen av slike masser er at det i dag deponeres betydelige mengder sekundære materialer, som i mange tilfeller kan benyttes som tilslag gitt en egnet produksjon/foredling og håndtering av miljøutfordringer i tråd med kravene om å anvende sirkulærøkonomi i ressursforvaltningen.

4.2.1 Overskuddsmasser fra natursteinbrudd, anlegg og infrastrukturprosjekter

Overskuddsmasser fra infrastrukturutbygginger som veganlegg, tunneler, skjæringer etc., samt fra naturstein- og skiferproduksjon transporteres gjerne bort og brukes til fyllinger eller dumpes. Bedre utnyttelse av lokale overskuddsmasser bl.a. til betongformål vil ha stor betydning for samfunnet ved at ressurstilgangen på byggeråstoff sikres, samt at det gir store økonomiske besparelser og reduserte miljøbelastninger. Utfordringen knyttet til overskuddsmasser er at uttakene, især ved infrastrukturprosjekter, ofte stammer fra forskjellige geologiske formasjoner av bergarter med forskjellige mekaniske, fysiske og kjemiske egenskaper, noe som stiller store krav til kvalitetssikring. En kartlegging av bergmassenes tekniske kvalitet og vurderinger av deres egnethet til ulike bruksformål er derfor nødvendig. Ved bruk av overskuddsmasser må det også iverksettes et langt strengere kontrollregime enn det standardene har som minstekrav, se kapittel 2.

I tidlig planfase bør man gjøre en geologisk kartlegging og bruksfokuset karakterisering av materialene, samt lage en plan for arealdisponering som muliggjør selektiv mellomagring av ulike bergartstyper og brukskvaliteter. Disse undersøkelsene og vurderingene vil kunne gi den nødvendige forutsigbarheten for å utnytte ressursene best mulig. Selve tilslagsproduksjonen med utgangspunkt i slike masser vil imidlertid kunne følge normale prosessstrinn mht. knusing, sikting og lagring.

4.2.2 Resirkulert tilslag fra riveprosjekter

Herdet betong kan i prinsippet knuses og resirkuleres for bruk som tilslag i ny betong. Resirkulering av byggematerialer er en viktig del i miljøplanlegging og sirkulærøkonomi. Når det gjelder den prosessmessige siden av dette, vil første prosessstrinn være demolering av konstruksjonen som skal rives. Demoleringen vil helt og holdent avhenge av konstruksjonens størrelse, utforming og kompleksitet mht. materialsammensetning og betongkvalitet. Demolering av store, tunge konstruksjoner kan f.eks. gjøres ved sprengning, men gjerne mer vanlig ved hjelp av store bitere montert på gravemaskin, kran eller hjullaster.

Etter demolering kan en videre prosess skje med:

- Videre nedbrytning av betongen til knusbare stykker
- Fjerning av armeringsstål ved hjelp av magnetseparasjon
- Fjerning av lette komponenter (plast, treflis etc.) ved hjelp av f.eks. trykkluft/vindseparasjon
- Knusing av betongen til tilslagsstørrelser. Det må benyttes mindre knuseenergi enn ved steinknusing, ellers ender den knuste betongen opp med et betydelig støvvolum. Knusestrinn K1 og K2 kan være aktuelt. Ellers er det gode erfaringer med bruk av slagknusere (se vedlegg 1), gjerne med keramiske slaglistere. Knusing for å frigjøre bl.a. armeringsjern kan også fortas med liggende kjefteknuser
- Størrelsessortering vil kunne følge vanlige sikte- og vaskeprosesser
- Prosessering og bruk av resirkulert tilslag fordrer dokumentasjon mht. til innhold av forurensninger/skadelige stoffer, og bestandighet (alkalireaksjoner, svovelinnhold), se kapittel 2.

4.2.3 Gjenvunnet tilslag fra gravemasser

Gravemasser er jord, leir, sand, grus og stein fra både rene og lettere forurensede urbane- og industrielle byggegrunner hvor tilslaget gjenvinnes ved vasking og sikting og betegnet som «prosessert

gravemasse». I prinsippet er det tale om «Landfill Mining» dvs. å utvinne verdier fra avfall som ellers ville blitt deponert. Gjenvunnet tilslag kan bl.a. anvendes som tilslag i vei, asfalt og betong.

Iht. forurensingsloven skal gravemassene først kjøres til og deponeres på lokalt godkjent mellomlager eller godkjent deponi. Det er krevd at opprinnelsessted, tilstandsklasse og egenerklæring registreres og leveres sammen med massene så disse er sporbare. Når massene skal prosesseres videre til tilslag mates de inn i et renseanlegg og blandes med vann som på forhånd er tilsatt kjemiske stoffer (flokkulanter) med mål om å nøytralisere forurensning og fjerne tungmetaller. Grove partikkelstørrelser kan eventuelt knuses ned og blandes inn i gravemassene. Disse spyles heretter under høyt trykk. Masse og vann skilles mekanisk og separeres i forskjellige valgte fraksjoner samt en vannholdig «slurry». Slurryen som inneholder mesteparten av de eventuelle farlige stoffene skal deponeres på godkjent avfallsdeponi eller prosesseres videre gjennom et filteranlegg. Ved prosessering i filteranlegg vil den gjenværende «tørre filterkaken» inneholde hovedparten av de farlige stoffene, og skal derfor deponeres i godkjent avfallsdeponi. Vannet kan bli kjemisk rensset for farlige stoffer og anvendes igjen i vaskeprosessen. De fraksjonerte tilslagsmassene (større enn 0,063 mm) er pga. vaskeprosessen tilnærmet rene og inneholder ingen, eller kun marginale andeler farlige stoffer.

Produksjon og bruk av tilslag basert på gravemasser krever omfattende analyser og tiltak for å møte både kvalitets- og miljøkrav. Dette er gjennomgått i kapittel 2.

4.2.4 Gjenvunnet tilslag fra betongproduksjon

Gjenvunnet tilslag er vasket fersk betong og knust, herdet restbetong fra blandeverk, betongvare- og betongelementfabrikker. Gjenvunnet tilslag kan benyttes som delkomponent i ny betong innenfor gitte grenser, se kapittel 2.

4.3 Håndtering, lagring og transport

4.3.1 Blandeanlegg og blanding av ulike bergarter

Det kan være behov for å sette sammen to eller flere ferdigvarer for å oppnå en ønsket kvalitet. Det kan være en vasket og en uvasket vare som skal settes sammen for å tilfredsstille ønsket kurvesammensetning.

Det optimale for å sette sammen to fraksjoner er å blande dem i produksjon eller med et eget blandeanlegg hvor det kan settes sammen fraksjoner med egne matere. Da har man i større grad kontroll på ferdigproduktet, og det er lettere å ta ut representative prøver av ferdigproduktet. Dette fordrer at det ikke observeres store forskjeller gjennom forekomsten mht. geologiske forhold.

Det kan også være utfordringer knyttet til overskuddsmasser fra anlegg og infrastrukturprosjekter ved at massene stammer fra forskjellige geologiske formasjoner av bergarter med forskjellige mekaniske, fysiske og kjemiske egenskaper.

Når det gjelder blanding/kombinasjon av ulike bergarter i overskuddsmasser fra anlegg, er gjerne situasjonen mer komplisert. Her fordres tiltak som nevnt i kap. 4.2.2.

Anleggsområder må holdes ryddig og oversiktlig for å sikre et ferdigvarelager som tilfredsstiller kundens krav til renhet og homogenitet.

Tilslagsmaterialer kan lagres på silo, under produksjonsbånd eller være tilkjørt (kippet) til et egnet lagersted.

4.3.2 Silo

Lagring og lasting fra silo vil ofte være en god løsning. Fra silo vil massene være produksjonstørre og holde en jevn fuktighet. Det må unngås segregering i silo. Om det er et problem, kan en endring på materialstrøm være et godt tiltak. Høy fallhøyde kan føre til segregering, og løsningen kan være å holde nivået på silo høyere. Åpning sentrert i bunn av silo er ofte det beste med tanke på homogene varer. Åpning på siden av silo kan medføre separasjon og ujevne masser.

4.3.3 Lagerområde

Ved lagring på fast dekke vil det ikke være fare for forurensinger ved opplasting. Ved lagring uten såle/pute må det sikres at det ikke lastes opp dypere enn lageret. En 30 cm såle av samme eller finere masse (alternativt fast såle) under lageret vil ivareta dette. Lagring i høyden bør skje lagvis og kontrollert. Lagring med tipping utenfor kant bør unngås. Om det må tippes utenfor kant er det viktig først å lagre masser under så høyt som mulig før det tippes over. Alle lagerområder må være godt adskilt fra hverandre. Støvflukt fra prosessanlegg og industriområde bør minimaliseres. Støvdemping ved bruk av vann og eller støvbindende middel benyttes ofte. Støvdempende middel må ikke forurense tilslaget på noen måte. Sjekk ut med leverandør av støvdempende middel om det er egnet for bruk til betongtilslag. Salt benyttes ofte som støvdemping, men slik bruk kan forurense tilslaget og må ikke brukes i nærhet av betongtilslag.

Det må påses at riktig fraksjon kommer på riktig lagerplass. En må være nøye med visuell kontroll av lager slik at eventuelle forurensninger som treflis o.l. ikke er til stede i fraksjonen. Det skal være godt skille mellom lagerhaugene slik at sammenblanding unngås. Ved lagring av forskjellige graderinger skal massen legges lagvis med maks høyde på 3 meter pr. lag. Ved kipping fra silo med lastebil/dumper skal det tippes på plan og deretter kan det være praktisk å lagre videre i høyden. Det skal da brukes hjullaster til å løfte opp eller at bil kjører på kjørebros for å lagre en høyde over. En må sikre at transport på kjørebros ikke tilfører finstoff i ferdigvaren.

For å ha det så ryddig som mulig, må arealene mellom de forskjellige lagerhaugene skrapes rene. Denne massen bør fraktes til forhåndsbestemt lager eller fyllmasselager. Ved forurensing under band eller ved feilkipping av masse til lager må forurensete masser også kjøres til forhåndsbestemt lager eller fyllmasselager.

Lagring i lagerhall sikrer et jevnere fuktinnhold.

4.3.4 Opplasting og transport

Det må alltid sørges for at skuffe på hjullaster eller lastebilplatt er ren før det skal lastes fra en ny fraksjon. Få alltid transportør til å stille seg med kjøretøyet så nært som mulig den fraksjon som skal lastes. En unngår da sammenblanding med andre fraksjoner hvis det blir litt søl ved opplasting. For å sikre homogene masser kan det være behov for at opplaster blander sammen massene før opplasting på bil. En må unngå snø og is ved opplasting, da det vil frigjøre ukontrollert mengde vann på betongstasjonene. Ved store snønedfall må det renskes bort før opplasting, og finnes det isklumper må frosset tilslag legges på egen plass for å tines før levering til betongstasjon. Ved transport av for

eksempel tørr 0/4 mm kan det være nødvendig å tildekke eller fukte overlaget for å unngå at det fyker av lasteplan.

4.3.5 Produksjonskontroll

Bedriften skal utvikle et produksjonskontrollsystem (PKS) som tilfredstiller kravene i den felles europeiske standarden NS-EN 12620. Tilslag til betong ligger i Norge i attestasjonsmodul 2+, som betyr at samsvar med standarden skal attesteres/sertifiseres av et tredjeparts kontrollorgan. Dette i motsetning til attestasjonsmodul 4 hvor det er tilstrekkelig med en egenerklæring fra produsenten om at standarden blir fulgt.

De harmoniserte standardene er utarbeidet med det formål å sikre lik tilgang av byggevarer i hele EØS-området og de er således grunnlag for CE-merking. Det er krav til CE-merking i Norge.

Det er ni hovedpunkter i tilslagsstandardens som beskriver et forslag til oppbyggingen av PKS i bedriften.

De er:

- Organisering
- Kontrollprosedyrer
- Produksjonsstyring
- Inspeksjon og prøving
- Dokumentasjon
- Kontroll av avvikende produkt
- Håndtering, lagring og viderebehandling i produksjonsområder
- Transport og emballasje
- Opplæring av personell

Tilslagsprodusenten skal utarbeide/utvikle et system som ivaretar alle hovedpunktene med underpunkter og kan dokumentere et system som tilfredstiller standardens krav til et PKS. Systemet er ment å sikre rett kvalitet og jevnhet på bedriftens produkter.

Standarden i seg selv setter få krav til tilslaget (se kapittel 2), men angir kategorier og klasser som produsenten skal deklare sitt tilslag etter.

Det nasjonale tillegget, tabell NA.1 i standarden forteller om hvilke parametere som kreves dokumentert i Norge for å levere tilslag til betong. Det er verdt å merke seg at minstekrav i standarden er gyldig for sertifisering av produsenten. En betongprodusent vil ofte stille vesentlig strengere krav og tettere toleranser til tilslaget enn minstekravet standarden krever for sertifisering.

Det skal foreligge dokumentasjon som i detalj angir råmaterialets beskaffenhet, dets opprinnelse, og der det er aktuelt, ett eller flere kart som viser plassering og utvinningsplan.

4.3.6 HMS

Det er i tilslagsbransjen mange risikoforhold og HMS-utfordringer som alle tilslagsleverandører skal kartlegge, vurdere og gjøre tiltak for å minske risikoen.

Arbeidstakere i tilslagsbransjen er eksponert for vibrasjoner, kjemikalier, støv og støy, hvor må man ligge innenfor akseptable, fastsatte grenseverdier. En spesiell viktig sak å ta vare på er støv, fordi den

kan føre til risiko for silikose og asbestose. Arbeid i høyden, det være seg å jobbe med bevegelige maskiner som hjullastere, dumpere eller gravemaskiner, utføre oppgaver på høye faste installasjoner eller pallkanter utgjør en stor risiko. Det samme gjelder arbeid med store maskiner, med bevegelig, roterende deler som utgjør en fare for klemskader og påkjørsel.

Det er viktig at arbeidsgiver sørger for at alle sikkerhetstiltak er på plass samt å gi god opplæring og instruksjoner til arbeidstakerne.

5 Bruksegenskaper i fersk, herdnende og herdet betong

5.1 Innledning

Tilslaget utgjør ca. 70 % av betongens volum, og de ulike kvalitetsparametere hos tilslaget har avgjørende betydning for funksjonsegenskapene hos betongen. Dette gjelder både i byggefasen hvor den ferske betongen skal støpes ut og herde, og for det ferdige prosjekt hvor den herdete betongen har sin lastbærende funksjon.

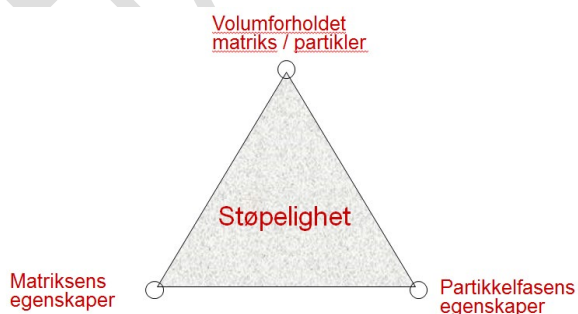
Det er gitt en oversikt over effekten som de ulike tilslagsparametere har på funksjonsegenskapene til fersk og herdnende betong (kapittel 5.3) og til herdet betong (kapittel 5.4). Merk at de bestandighetsmessige effektene av tilslag er behandlet i kapittel 3 Geologiske ressurser og bestandighet.

5.2 Proporsjonering av betong

For å forstå tilslagets betydning for egenskapene til betong er det en forutsetning å ha grunnleggende kunnskap om hvordan betong proporsjoneres. Å proporsjonere en betong er å velge delmaterialer og sette dem sammen slik at:

- Den ferske betongen får tilstrekkelig støpelighet til at betongen lar seg støpe ut og komprimere med ønsket støpeteknikk
- Risikoen for tilfeldige feil og mangler er på et akseptabelt nivå
- Den herdete betongen oppnår de foreskrevne bruks- og langtidsegenskapene med tilstrekkelig margin
- Økonomiske og miljømessige hensyn er ivaretatt

Betong kan bestå av alt fra et par til 7-8 delmaterialer. Det er disse komponentene hver for seg og sammen som bestemmer betongens støpelighet. For å skape et enklere bilde av disse sammenhengene kan partikkel-matrismodellen brukes. Den ferske betongen blir i modellen et to-komponentmateriale, sammensatt av en matrisfase og en partikkelfase. Matrisfasen er den flytende komponenten (alle partikler mindre enn 0,125 mm) som omslutter den faste partikkelfasen over 0,125 mm) og fyller alle hulrom. Betongens støpelighet vil da være gitt av egenskapene til de to fasene og volumforholdet mellom fasene, som vist i Figur 5-1.



Figur 5-1: Betongens støpelighet kan angis ut fra matriksens og partiklenes egenskaper og volumfordeling mellom fasene

Herdet betong kan på den annen side betraktes som et komposittmateriale bestående av tre faser: tilslaget, sementpastaen og overgangssonen mellom sementpasta og tilslag, se kapittel 5.4.2.

5.3 Egenskaper i fersk og herdnende fase

5.3.1 Innledning

I Tabell 5-1 gis det en oversikt over funksjonsegenskapene i fersk og herdnende fase med tilhørende tilslagsparametere og anbefalinger. Det gis utfyllende informasjon i teksten under tabellen.

Tabell 5-1: Fersk og herdnende betong

Funksjonsegenskaper	Tilslagsparametre	Tiltak, anbefalinger
Matriksbehov/ vannbehov	Gradering Finstoffinnhold Kornform Fri glimmer i sanden Silt/leirbelegg, slam	Jevn gradering uten partikkelsprang Mengde finstoff må tilpasses betongtype, økt mengde ved lavere (mindre sementrike) betongkvaliteter Knust sand er gjerne skarpere og fordrer mer finstoff av hensyn til poreinnhold. Unngå belegg på korn, unngå fri glimmer > 15 % talte korn.
Støpelighet	Gradering, kornform	
Komprimerbarhet	Gradering, kornform	Tett gradering for komprimerbarhet av tørrbetong kubisk/rundet kornform viktig
Stabilitet, unngå separasjon og vannutskillelse	Gradering, kornform Finstoffinnhold	Tett gradering mest stabil, partikkelsprang fordrer stivere konsistens, knust sand kan gi mer vannutskillelse, filler stabiliserer /tetter
Luftinnhold	Gradering, også i finfraksjonen. Fri glimmer, fillermengde	Åpen gradering og skarp kornform gir mer porer/luft. Fri glimmer i grovere fraksjon gir luft
Plastisk svinn temperaturriss	Bergart/mineral, kornform, gradering, silt/leirbelegg	Faktorer som øker pastamengden (vann/ementbehov), lav termisk utvidelseskoeffisient, høy densitet
Avbinding og herdeforløp	Humusforurensning, kornform, aurhelleforurensning	Humus retarderer/hindrer avbinding, Aurhelle kan gi korn med pop-out, misfarging og retarding

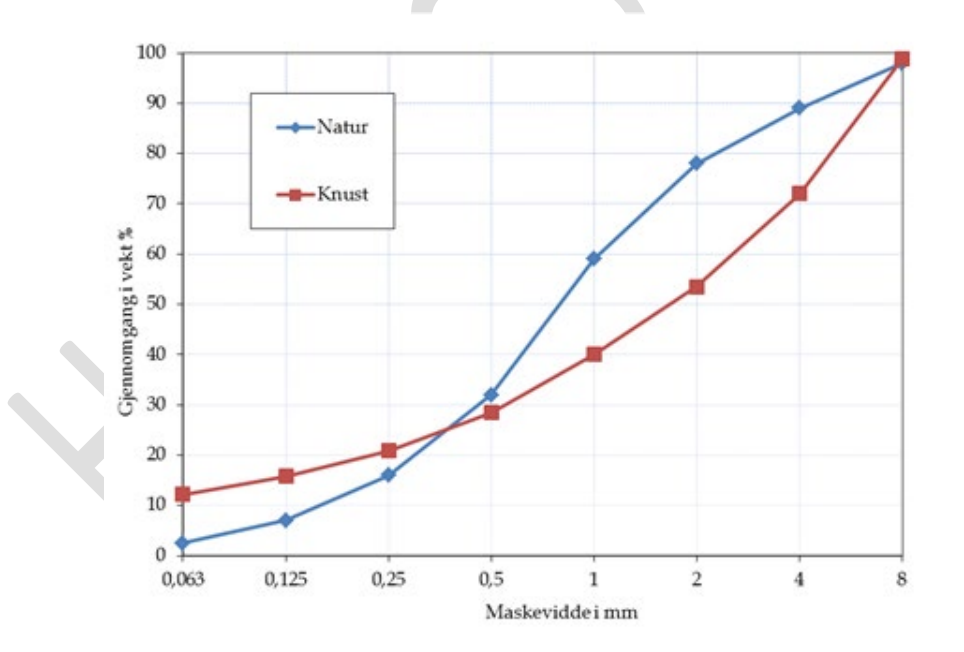
5.3.2 Støpelighet og korngeometri

5.3.2.1 Generelt

Tilslagets viktigste bruksegenskaper i fersk betong styres i hovedsak av geometriske egenskaper, dvs. kornform og gradering. Et fellestrekk for avsetninger fra breelver (kapittel 3.2.2) er en «åpen» gradering med tendens til stor andel av partikler i et relativt begrenset område, tilslagskorn som er kubiske og noenlunde godt rundet, og gjerne lite materiale i fillerfraksjonen. Knust tilslag vil derimot gjerne ha dårligere (i betydning skarpere, mer flisig) kornform enn naturtilslag, samt tendens til en tettere, mer fillerrik graderingskurve. Kornformen for knust tilslag kan modifiseres ved å optimalisere knuseprosessen, se kapittel 4.1.4. Og graderingen kan bestemmes/ justeres ved hjelp av sikting, vasking, vindsikting og kombinasjoner av forskjellige kurver (kapittel 4.1.5). Begrepene «tett» og «åpen» gradering er knyttet opp mot pakningsgraden og derigjennom hulrommet og matriksbehovet for støpelig/flytende betong. Pakningsgraden er minst like viktig for tørrbetonger, som gjerne har lite matriks, men trenger å settes sammen med tett graderingskurve og «god» kornform for å oppnå lavest mulig porevolum.

5.3.2.2 Gradering for natur- og knust sand

Figur 5-2 viser «typisk» forskjell i gradering for 0/8 mm natursand basert på breelvmateriale (se kapittel 3) og 0/8 mm knust sand, men det er viktig å være klar over at det kan være store variasjoner. Natursand kan for eksempel ha rettere gradering, og graderingen til knust sand kan, avhengig av prosessering, avvike mye i forhold til dette eksempelet. Det er også viktig å være klar over at en så lang fraksjon som 0/8 mm for knust sand kan være utfordrende med hensyn til segregering.



Figur 5-2: Eksempel på forskjeller i gradering mellom 0/8mm natursand basert på breelvmateriale med «åpen» gradering og 0/8 mm knust sand med «tett» gradering

5.3.2.3 Åpen, rett og tett gradering

I Norge har vi mest erfaring med «åpne» eller rette kurver. Figur 5-2 viser eksempler på åpen og tett tilslagsgradering, mens en rett gradering vil ligge mellom disse kurvene. En åpen gradering (sandpukkel) gir større hulrom enn en tett gradering, samtidig som en åpen gradering ikke er så følsom for kornform som en tett gradering fordi partikkelkontakten er mindre når hulrommet og matriksmengden øker.

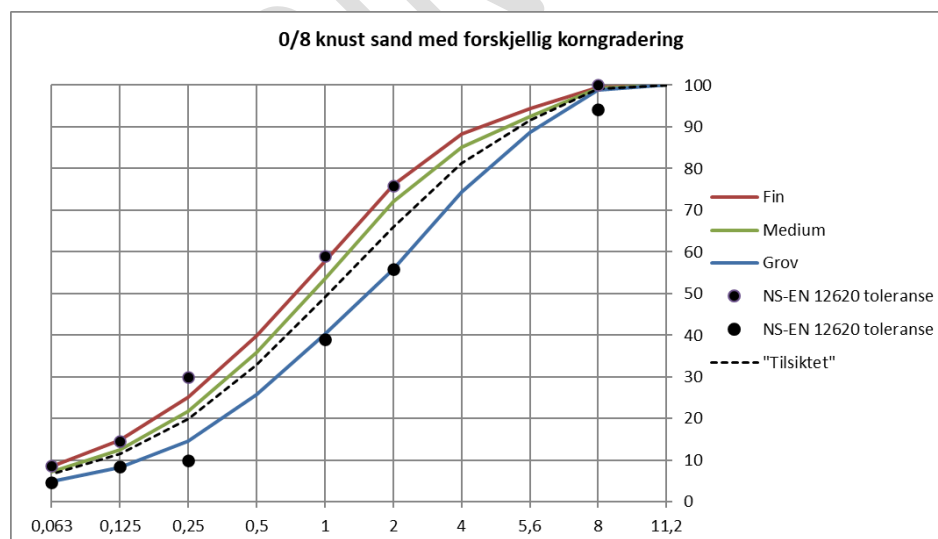
Dersom betongen er partikkeldominert vil et tilslag med rett gradering og god kornform ofte være å foretrekke. For matriksdominerte betonger, som typisk er tilfelle for selvkomprimerende betong (SKB), kan det være gunstig med en tett gradering fordi matriksoverskuddet sikrer avstand mellom partiklene, slik at partikkelkontakt og friksjon spiller mindre rolle.

Det er i dag relativt få betongprodusenter i Norge som har tatt steget fullt ut over på 100 % bruk av knust sand, selv om det de siste årene har blitt stadig flere. Derimot er det ganske vanlig å kombinere naturlig og knust materiale. Det finnes mange eksempler på at slike kombinasjoner er svært gunstige. Kombinasjon av «åpen» naturkurve og «tett» maskinsandkurve gir en resulterende rett kurve som ofte er gunstig. I tillegg kan den økte mengden finstoff i maskinsand være gunstig i kombinasjon med en finstoffattig natursand. Maskinsand vil i tillegg bidra til å jevne ut den naturlige variasjonen i naturtilslaget gradering.

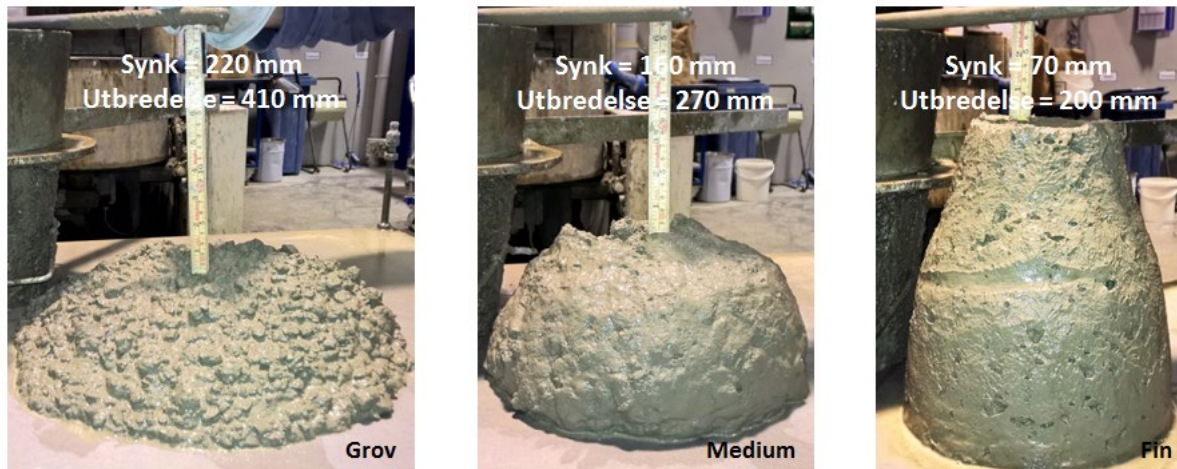
Det er viktig å være klar over at selv om graderingskurver av ulike materialer er like, behøver ikke det å bety at de er likeverdige med hensyn til betongens matriksbehov og støpelighet, noe som først og fremst kan skyldes at det kan være forskjeller i kornform, og forskjeller i kornkurven under 0,063 mm.

5.3.2.4 Toleransekrav til gradering

I det etterfølgende eksemplet illustreres det at variasjon i korngradering innenfor de tillatte toleransegrensene i NS-EN 12620 (se Figur 5-3) kan påvirke den ferske betongens konsistens i betydelig grad (se Figur 5-4).



Figur 5-3: 3 korngraderinger av maskinsand som er innenfor toleransegrensene i NS-EN 12620



Figur 5-4: Synk og utbredelse for betonger med de 3 korngraderingene i figur 5-3

Den grovste korngraderingen er den beste av disse 3 graderingene med hensyn til betongens støpelighet. Korngraderingen gir tilstrekkelig sammenhengsevne i betongen slik at den tåler relativt høy konsistens uten å separere, samtidig som korngraderingen gir et relativt lavt matrisjevolumbehov. Eksemplet illustrerer at toleransene som er gitt i tilslagsstandarden er alt for vide, og at det bør tilstrebes langt strengere toleranser.

5.3.2.5 Kornform og overflate

Ved siden av gradering er kornformen den viktigste tilslagsparameteren når det gjelder komprimerbarhet og støpelighet. Begge disse funksjonsegenskapene er avhengig av tilslag med kubisk, godt rundet kornform i alle kornstørrelser. Karakterisering av kornform gjøres tallmessig ved hjelp av flisighetsindeks, se kapittel 2. Men nyttig vurdering kan – ikke minst i når det gjelder små kornstørrelser – gjøres av erfaren teknolog visuelt under et stereomikroskop. I utgangspunktet er natursand mer kubisk og rundet enn knust sand, men moderne knuseanlegg – se kapittel 4.1.4– kan i dag utligne mye av forskjellene. Det er også viktig å være klar over forskjellen i kornform for ulike typer natursand, avhengig av avsetningsbetingelsene for sanden: Det kan være skarpere natursand i kort-transporterte (med vann og is) avsetninger i f.eks. bratte vestlandsdaler enn det er i store, mer langtransporterte forekomster f.eks. på Østlandet.

Overflaten til tilslagskornene har i tillegg til kornformen mye å si for betongens vannbehov og konsistens. Det finnes ingen standardiserte prøvingsmetoder for å klassifisere overflatestrukturen, men kornene kan beskrives kvalitativt som «rue» eller «glatte». Overflatestrukturen er avhengig av porestruktur, strukturen til bergarten, produksjonsmetoden, eroderings-effekten og kornstørrelsen. Overflatestrukturen påvirker den spesifikke overflaten til kornene og friksjonen kornene imellom.

5.3.3 Finstoff og mineralsammensetning

5.3.3.1 Generelt

Det er hovedsakelig tre egenskaper hos de fine tilslagspartiklene som påvirker støpeligheten til fersk betong:

- Totalt innhold av finstoff
- Korngradering/spesifikt overflateareal av finstoffet
- Mineralsammensetning av finstoffet og samvirke med tilsetningsstoffer

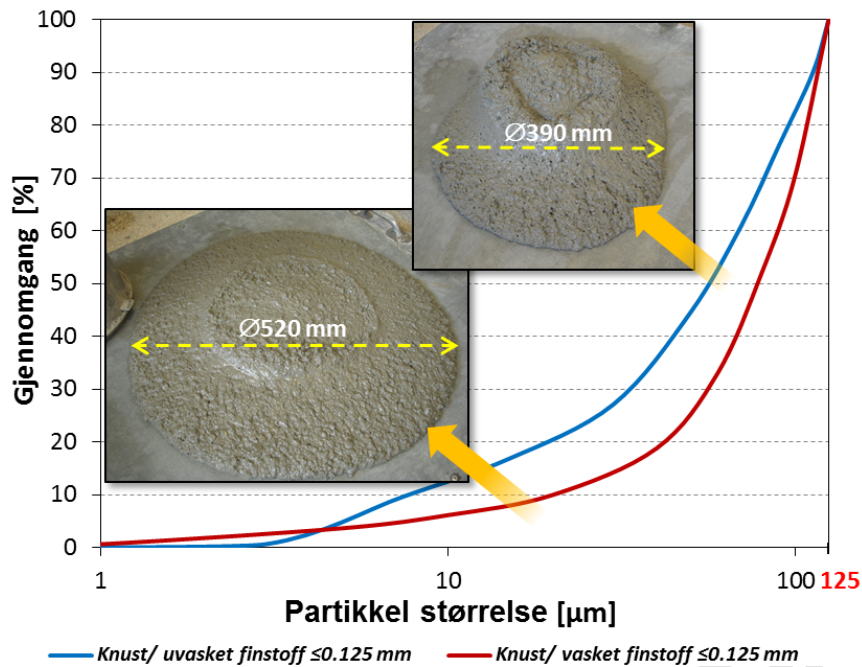
Det presiseres her at diskusjonene i de etterfølgende delkapitler har størst relevans for flytbetong.

5.3.3.2 Effekt av mengde finstoff og finstoffets gradering

Økt antall av fine partikler < 0,125 mm i betong øker matriksvolumet til betongen, men øker også flytmotstanden (viskositeten) av selve matriksen, pga. adsorpsjon av vann på et stort overflateareal av finstoffet. Betydning av korngraderingen til finstoffet kan forklares gjennom økning i spesifikt overflateareal: jo finere korngradering (og høyere overflateareal), jo høyere er økningen i flytmostand av matriksen. Slutteffekten av finstoffet på støpelighet til betong avhenger av den opprinnelige flytmostanden til matriksen. For betonger med lite finstoff og lav flytmostand (f.eks. B30 M60) kan både stabilitet og flytbarhet forbedres når andelen av fine partikler økes. På den annen side vil betonger som allerede inneholder en god del av finstoff (f.eks. B55 M40) bli viskøs hvis det tilsettes mer finstoff. Derfor finnes det ikke noen ideell mengde av finstoff som kan anbefales for sandtilslag, da den optimale mengden vil avhenge dels av overflatearealet til finstoffet og dels av den valgte betongtypen.

Den fineste delen av finstoffet (partikler mindre enn ca. 20 µm) har størst effekt på matriksens stabilitet og flytmotstand, fordi det totale overflatearealet øker etter hvert som partikkelstørrelsen reduseres.

Figur 5-5 viser et eksempel på hvordan våtklassifisering av en sand har gitt en økning i betongens støpelighet (synkutbredelse). Effekten er en konsekvens av at spesifikk overflate av finstoffet har blitt redusert med våtklassifisering.



Figur 5-5: Betydning av spesifikk overflate av finstoff i sand på betongens støpelighet ($v/c = 0.50$, $D_{\max} = 16$ mm, andel partikler ≤ 0.125 mm fra hele tilslagskurven = 3.3 % eller 57 kg/m³).

5.3.3.3 Effekt av finstoffets mineralsammensetning og samvirke med tilsetningsstoffer

Effekten av finkornige tilslagsmineraler på matriksens reologi avhenger i stor grad av både typen mineraloverflater og typen tilsetningsstoff (SP). Effekten henger sammen med adsorpsjon av SP-stoffets molekyler på de finkornige mineraloverflatene. Disse har i ulike grad tendenser til å flokkulere, og flokkene vil da legge beslag på det frie vannet i blandingen, som da ikke vil være tilgjengelig for å redusere matriksviskositeten. På den annen side, hvis de samlede finpartiklene har tendens til å adsorbere SP-partikler, konkurrerer de om SP med sementen, og følgelig trengs det mer SP for å dispergere sementen.

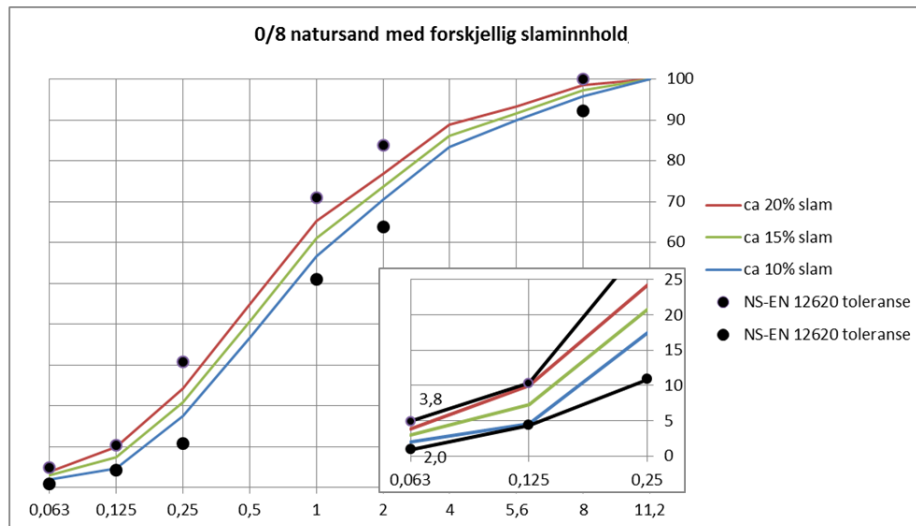
Effekt av fri glimmer:

Innhold av fri glimmer i finfraksjonene $< ca. 0,250$ mm er dokumentert å være en viktig parameter for betongens vannbehov. Til tross for dette er det ikke krav om å måle og deklare mengde fri glimmer hverken i betong- eller tilslagsstandard. Statens vegvesen har imidlertid en anbefaling om maksimal mengde fri glimmer, se kapittel 2.2. Fri glimmer finnes normalt i finfraksjonene, men der hvor det også finnes i litt grovere fraksjoner, kan det ha betydning gjennom økt luftinnhold. Det er også funnet at muskovitt (lys glimmer) gir høyere vannbehov enn biotitt (mørk glimmer), og også at glimmer i knust tilslag (maskinsand) er mer ugunstig enn glimmer i naturforekomster. Det siste har sammenheng med at glimmer (først og fremst biotitt) forvirrer lett, og forekommer med redusert overflateaktivitet i naturen. Det finnes tilsetningsstoffer på markedet som til en viss grad vil kunne motvirke den negative effekten av høyt glimmerinnhold.

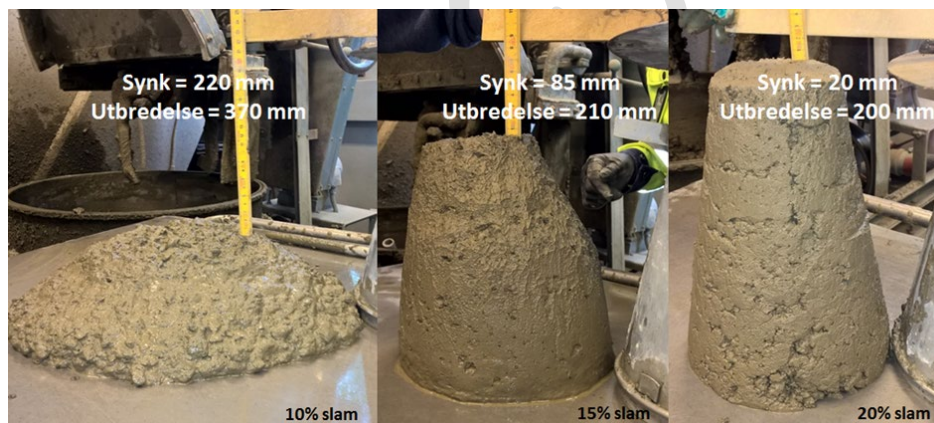
5.3.4 Slam i naturtilslag

Slam finnes gjerne som belegg på sand-/gruskorn, og kommer ikke frem på vanlig siktekurve. Slam har sin primære innflytelse gjennom økning i matriksvolumbehov. Fast slambelegg kan derimot ha en direkte fasthetsreducerende virkning gjennom nedsatt heft.

I det etterfølgende eksemplet illustreres det at varierende slaminnhold i en 0/8 mm natursand kan påvirke den ferske betongens konsistens i betydelig grad (se Figur 5-6).



Figur 5-6: Tre uttak av sand fra et sandtak med slaminnhold fra 10 % til 20 %



Figur 5-7: Synk og utbredelse for betonger med de 3 uttakene sand fra figur 5-5

Figurene viser en reduksjon i synk fra 220 mm med sand som inneholder 10% slam, mens uttak en annen plass i forekomsten, med slaminnhold på 20%, kun gir en konsistens for betongen på 20 mm i synk.

Det er erfart at betong basert på ulike forekomster kan ha varierende følsomhet for variasjon i slaminnhold og effekt på betongens konsistens. Det er ikke klart hva som gjør dette, men ulik finhet (korngredning) på slammene kan være en årsak, se også kapittel 5.3.3.2.

5.3.5 Densitet

Normalt vil korndensiteten til tilslag fra norske bergarter ligge i området 2500–3200 kg/m³. Basis ved bestemmelse av tilslagets densitet er såkalt mettet og overflatetørr tilstand. Det betyr at alle porer i tilslaget er fylt med vann, men det er ikke noe fritt vann på overflatene, se ellers kapittel 2 for metoder. Tilslagsstandarden definerer tilslaget som «normalt» med en densitet mellom 2000 og 3000 kg/m³, og henholdsvis «lett» og «tungt» ved lavere og høyere densitet.

For flytbetonger, og spesielt for selvkomprimerende betonger, vil tilslag med høy densitet gi økende fare for segregering. Jo høyere densitet (det grove) tilslaget har, jo viktigere er det at betongens matriks har høy flytmotstand slik at betongen opprettholder sin homogenitet uten at det grove tilslaget synker ned. Se ellers kapittel 5.3.12.2 angående effekt på temperaturriss i herdnende betong.

5.3.6 Absorbent vann

Vannabsorpsjon er et mål på tilslagets porøsitet. Prinsipielt er vannabsorpsjon forskjellen mellom ovnstørr tilstand og vannmettet overflatetørr tilstand. Norske tilslag er generelt tette og lite porøse, og vannabsorpsjon ligger nesten alltid under 2 % og ofte under 1 %. Ved beregning av masseforhold i betong skal ikke det absorberte vannet regnes med. Dette er basert på antagelsen om at det absorberte vannet er «bundet» og dermed ikke tilgjengelig ved hydratasjon av sement. For prøvingsmetoder se kapittel 2.

Merk at begrepet adsorpsjon innebærer at vannet trenger inn i tilslagets porer, i motsetning til adsorpsjon hvor vannet er bundet til partiklenes overflate. Adsorpsjonen vil dermed være større for små enn for store partikler (økende overflateareal per vekt enhet ved synkende partikkelstørrelse). Men i motsetning til vannet som er absorbert i tilslagspartiklenes porer og dermed bundet, vil vannet som er adsorbent på partiklenes overflate være tilgjengelig ved hydratasjon av sement.

5.3.7 Fuktinnhold

Ved produksjon av betong måles fuktinnholdet i tilslaget, enten manuelt gjennom uttak av tilslagsprøve som tørkes, eller med automatiske fuktmålere, der optiske fuktsensorer er mest utbredt. På denne måten kan den mengde vann som tilsettes i blandingen justeres slik at effektivt vanninnhold (hvor absorbent vann ikke regnes med, se kap. 5.3.6) og dermed betongens masseforhold holdes konstant, uavhengig av tilslagets fuktinnhold.

Det finnes noen resultater som tyder på at tilsatt blandevann kan være mer effektivt enn vann i form av fukt i tilslag når det gjelder å oppnå konsistens og støpelighet. Det er imidlertid sprikende resultater, bl.a. avhengig av type sand som benyttes. Mekanismene bak en slik eventuell effekt er ikke forstått.

5.3.8 Effekt av nyknust tilslag

Nyknust tilslag bør eksponeres i tilstrekkelig tid for fukt slik at porene i tilslaget fylles med vann, dvs. at fuktinnholdet minst tilsvare nivået for absorbent vann. I motsatt fall kan sug av vann inn i tilslaget føre til konsistenstap i den ferske betongen.

5.3.9 Luftinnhold

Tidligere studier med norske naturlige sandtyper i betongblandinger har vist at konvekse korngraderingskurver (mest mulig sandfraksjon mellom 0,2 og 0,5 mm) gir høyere luftinnhold og bedre luftstabilitet enn konkave korngraderingskurver. Økning av finstoffinnhold vil ofte kreve økt dosering av L-stoff, men vil på den annen side gjøre det lettere å oppnå god luftstabilitet.

5.3.10 Maskinsand

5.3.10.1 Hva er maskinsand?

Maskinsand er et foredlet materiale fra knust sandtilslag (se kap. 4.1.4 og 4.1.5), der man gjennom en mer avansert knuseprosess (**K4**) har oppnådd en kubisk og rundet kornform, og samtidig har kontroll med finstoffinnholdet gjennom enten tørrprosessering med vindsikt eller våtprosessering. Gjennom en slik prosessering kan det knuste produktet foredles til å ha minst like gode betonegenskaper som en god natursand.



Figur 5-8: Illustrasjon av maskinsand. Bilder t.v.: høykvalitets, kubisk naturlig glasifluvial sand. Bilder i midten: lavkvalitet flisig subbus. Bilder t.h.: høykvalitets maskinsand produsert via en optimal knuseprosess, inklusiv VSI-knusing.

Egenskapene til maskinsand vil i utgangspunktet skille seg fra natursand med en tettere kurve, høyere finstoffandel og mindre andel kubiske/avrundede korn, se også kapittel 5.3.2 og 5.3.3. En maskinsand vil kunne inneholde homogene, kontrollerbare bergarter, i motsetning til natursand som ofte vil inneholde variabelt innhold av ulike bergarter. Dersom bergarten i utgangspunktet er glimmerrik, vil man dermed kunne få en uheldig glimmeranrikning i finstoffet.

5.3.11 Avbinding og tidligfasthet

5.3.11.1 Humus

Humus er en av de vanligste forurensinger i tilslag fra norske sandforekomster. Innhold av humus virker retarderende i betong, og kan i verste fall fullstendig hindre avbindingen. Det er imidlertid ikke alle tilslagstyper som viser mørk farge ved NaOH-testen som gir retardsjon og redusert fasthet i betong, noe som undersøkelser har avdekket har sammenheng med mineralsammensetning og geokjemiske faktorer for øvrig. En gitt farge med et surt materiale (for eksempel granitt) vil gi større retardsjon enn om den samme fargen blir oppnådd med et basisk materiale (for eksempel bergarter i Oslofeltet med høyt kalk- og alkaliinnhold).

5.3.11.2 Leirmineraler

Knust tilslag fra bl.a. tunnelarbeider kan inneholde mindre mengder svelleleirmineraler fra svakhetssoner i berget. Tilslag fra sand/grusforekomster vil derimot svært sjelden inneholde slike

mineraler under våre geologiske betingelser. Et innhold av svelleleirmineraler kan være ugunstig mht. avbinding og herding av betongen, og i særlige tilfeller forårsake lokal svelling. Svelleleirmineraler påvises med metylenblå-test, se kapittel 2, og kan i normale tilfeller fjernes med vasking.

5.3.12 Svinn og riss i fersk og herdnende betong

5.3.12.1 Plastiske svinnriss

Dersom fordampingen av vann fra betongoverflaten i den ferske fasen er større enn betongens evne til å transportere vann opp til overflaten, vil betongen tørke ut. Dette leder til at det dannes vannmenisker ved betongoverflaten, som fører til undertrykk i porevannet og kontraksjonskrefter mellom partiklene. Gjennomsnittlig avstand mellom partiklene vil avta, og betongen «trekker seg sammen» og gir plastisk svinn. Problemet er først og fremst knyttet til høykvalitetsbetonger med høy mengde sement og lavt v/c, men høy mengde finstoff fra tilslaget vil kunne forsterke dette. De samme faktorene (lavt v/c -forhold/ mye finstoff i betongen) reduserer også transport av vann til overflaten, noe som øker risikoen for at betongoverflaten tørker ut. Tidlig påføring av herdemembran, vanning av overflaten og tildekking med plast vil motvirke fordamping av vann og, og vil dermed redusere risikoen for plastiske svinnriss.

5.3.12.2 Temperaturriss

Betongens bindemiddel genererer en stor varmeutvikling i de første timer og døgn i herdefasen. Varmeutviklingen vil kunne føre til store temperaturforskjeller over et betongtverrsnitt eller mellom to ulike støpeavsnitt (f.eks. mellom en nystøpt vegg og et tidligere støpt fundament), som igjen vil generere tøyingsforskjeller og dermed spenninger. I betongens avkjølingsfase vil det oppstå strekkspenninger pga. indre eller ytre fastholdning, og betongen vil risse opp dersom strekkspenningen overskrider betongens strekkapasitet. Tilslaget har flere effekter på dette:

- Betongens varmeutvidelseskoeffisient avhenger i stor grad av tilslagstype, hvor det er store forskjeller mellom f.eks. kalkstein (lav) på den ene siden og kvartsitt (høy) på den andre siden.
- Tilslagets vannbehov/matriksbehov har betydning for nødvendig mengde sement (økende sementmengde gir økende varmeutvikling).
- Tilslaget har en direkte effekt på varmeøkningen, hvor spesielt densitet har betydning.

Den adiabatisk temperaturøkningen (dvs. temperaturøkning uten varmetap til omgivelsene) på grunn av betongens herdevarme er gitt ved formelen:

$$\Delta T = \frac{Q \cdot C}{c \cdot \rho}$$

Hvor:

ΔT er adiabatisk temperaturøkning [°C]

Q er sementens/bindemidlets varmemengde pr kg [kJ/kg]

C er mengden sement/bindemiddel i betongen [kg/m³]

c er betongens spesifikke varmekapasitet [kJ/(kg °C)]

ρ er betongens densitet [kg/m³]

Et vannkrevende tilslag gir økt sementbehov, altså økt C i ligningen over. Betongens spesifikke varmekapasitet (c) (altså energimengden som skal til for å varme opp 1 kg betong) er relativt lite

influert av tilslagets mineralogi. Det er imidlertid noen forskjeller, hvor f.eks. karbonatbergarter har høyere spesifikk varmekapasitet enn silikatbergarter. Av formelen ser vi at økende densitet (ρ) gir redusert temperaturstigning. Dette er en konsekvens av at det blir flere kg betong som må varmes opp.

5.4 Herdet betong

5.4.1 Trykkfasthet og E-modul

5.4.1.1 Tilslag og sementpasta

Herdet betong kan betraktes som et komposittmateriale bestående av tre faser: tilslaget, sementpastaen og overgangssonen mellom pasta og tilslag. Det er vesentlige forskjeller i mekaniske egenskaper mellom sementpasta og tilslag:

Tilslag:

- Trykkfasthet av bergarten varierer innenfor et vidt spekter, fra ca. 60-350 MPa, men ligger ofte i området 150-200 MPa for gode norske betongtilslag.
- E-modul varierer også innenfor et vidt spekter, fra under 30 GPa til over 80 GPa.
- Forhold som tekstur, mineralogi og mineralenes konform spiller inn. Finkornige dagbergarter (f.eks. basalt og ryolitt) vil som regel ha høyere styrke og stivhet enn de mer grovkornige dypbergartene med samme mineralogi (gabbro og granitt).

Sementpasta:

- Trykkfasthet er avhengig av masseforhold og type bindemiddel, og ligger normalt sett i området 30-80 MPa
- E-modul er også avhengig av v/c-forhold og type bindemiddel, og ligger normalt i området 15-25 GPa.

5.4.1.2 Trykkfasthet i betong

Resulterende trykkfasthet i betong vil generelt begrenses av sementpastaens trykkfasthet. For «lave» betongkvaliteter (opp til ca. B35) vil tilslagstype normalt sett ha liten innvirkning. Allerede ved «moderat høy» fasthet (B45) vil tilslagstype erfaringsmessig kunne gi store utslag. Forsøk med ulike typer norske tilslag og ellers like betonger har vist at det kan være forskjeller på > 40 %. Tilslagets effekt på trykkfasthet avhenger av mange ulike parametere som diskuteres under:

Deler av forskjellene kan forklares ut fra stivhetsforskjeller mellom pasta og tilslag:

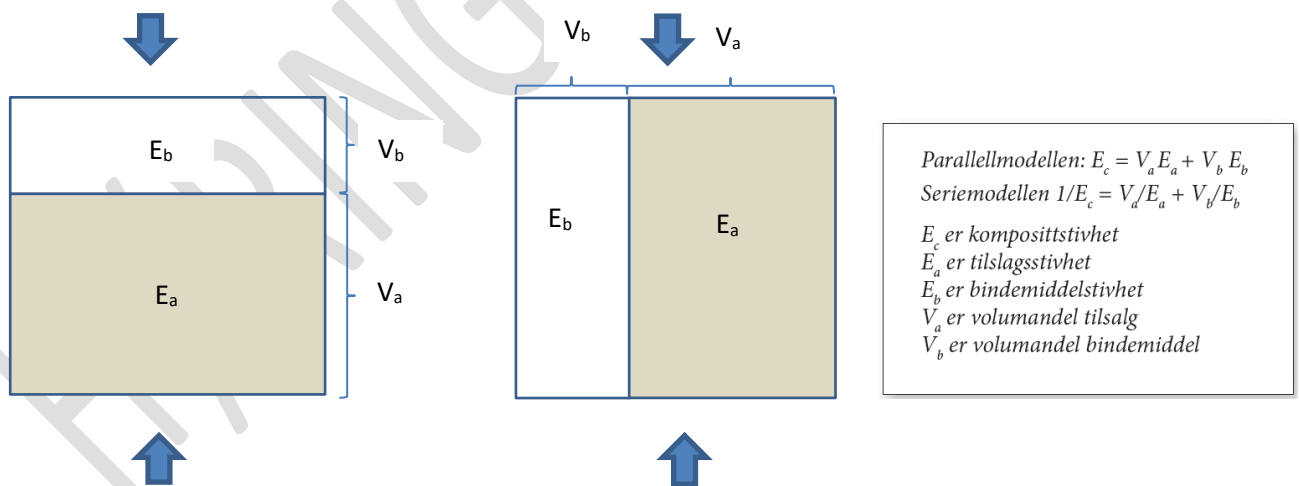
- Tilslaget vil pga. høyere stivhet (E-modul) få høyere midlere spenning enn sementpastaen og vil dermed «avlaste» sementpastaen - som vil få lavere midlere spenning enn den påførte ytre spenningen. Økt stivhet på tilslaget vil dermed kunne øke betongens fasthet – forutsatt at styrken på tilslaget er god nok
- Stivhetsforskjellen mellom pasta og tilslag medfører imidlertid en tøyingsforskjell mellom de to fasene, og det oppstår dermed spenningskonsentrasjoner i overgangssonen mellom pasta og tilslag som vil begrense fasthetsgevinsten. Effekten av dette er avtagende ved økende betongkvalitet, fordi stivheten mellom pasta og tilslag da blir mer like.

I tillegg til de ovennevnte forhold spiller også følgende inn:

- Overgangssonen mellom tilslag og pasta vil generelt være mer porøs og har gjerne orienterte kalsiumhydroksid-krystaller. Denne sonen vil kunne være vesentlig svakere enn ordinær pasta
- Overgangssonens beskaffenhet er i stor grad varierende avhengig av mineralogi. For noen mineraler kan det forekomme kjemisk binding mellom mineralkorn og sementpasta, dette er vist å gjelde for kalkspat i tillegg til omvandlet feltspat.
- For skarpkantede og røe overflater vil også mekanisk binding gjøre seg gjeldende
- Belegg på korn: Fast belegg kan gi redusert heft, og derigjennom redusert fasthet.
- Økende tilslagsvolum vil normalt føre til økt trykkfasthet
- Økende steinstørrelse gir redusert trykkfasthet. For hørfaste betonger er det ofte gunstig å begrense største steinstørrelse til 16 mm.
- Både det fine og det grove tilslaget vil ha betydning for betongens trykkfasthet, men de fleste studier peker på at det grove tilslaget har størst betydning

5.4.1.3 E-modul i betong

For E-modul kan enkle komposittmodeller brukes for å gi et estimat for den sammensatte stivheten. I Figur 5-9 er de aller enkleste komposittmodellene, seriell- og parallellmodell illustrert. Merk at vi i disse enkle modellene ser bort fra den tredje fasen, overgangssonen mellom sementpasta og tilslag. Parallellmodellen forutsetter at tøyingsfordelingen er homogen, altså samme tøyning i begge materialer. Seriellmodellen forutsetter på den annen side homogen spenningsfordeling, altså samme spenning i begge materialer.



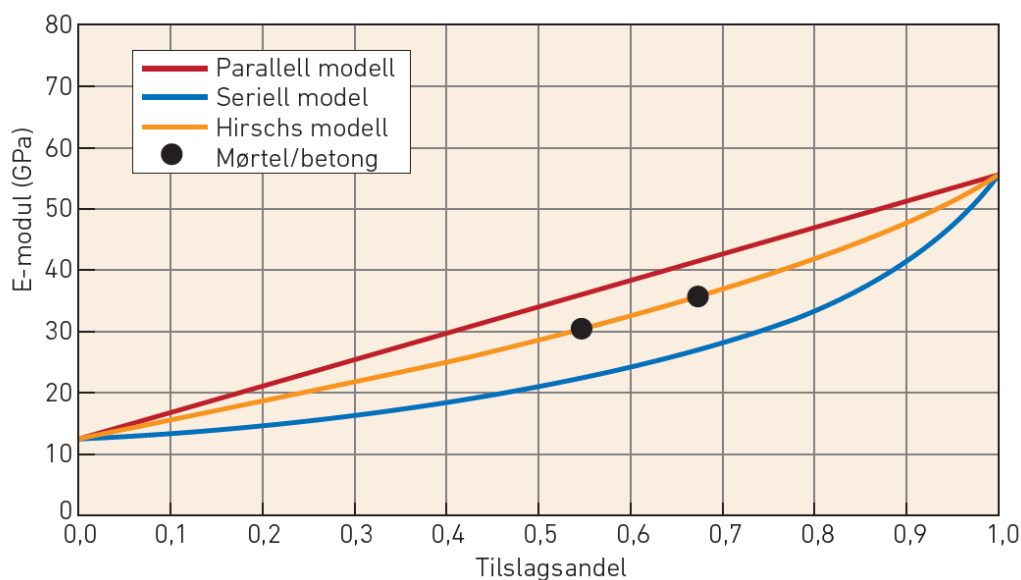
Figur 5-9 Komposittmodeller for betong: seriellmodell (venstre) og parallellmodell (høyre)

Ingen av modellene vil være fullt ut representative for betong, men de kan benyttes for å gi et øvre estimat (parallellmodellen) og nedre estimat (seriellmodellen). Resulterende E-modul kan estimeres ved hjelp av den relativt enkle Hirsch-modellen, som er satt sammen av parallell- og seriell-modellen. Hirsch-modellen med faktoren «x» lik 0,7 har vist seg å gi gode estimater for mørtel og betong. Dette er vist i praksis i Figur 5-10, hvor en mørtel med tilslagsandel på 56 % og en betong med tilslagsandel

på 68 % er plottet. Både økende tilslagsstivhet og økende mengde tilslag gir altså økt resulterende stivhet i betongen.

Hirsch- modellen:

$$\frac{1}{E_c} = x \left(\frac{1}{V_b E_b + V_a E_a} \right) + (1-x) \left(\frac{V_b}{E_b} + \frac{V_a}{E_a} \right)$$



Figur 5-10: E-modul (stivhet) som funksjon av tilslagsandel. Parallellmodell, seriellmodell og Hirschs modell (x=0,7) for kombinasjoner av tilslag av kvartsdioritt/mylonitt og bindemiddel med masseforhold 0,30. Fra Smeplass 2015.

De fleste studier har vist at det grove tilslaget har betydelig større effekt for betongens E-modul enn det fine tilslaget.

5.4.1.4 Karakterisering av mekaniske egenskaper

Vi har konstatert at mekaniske egenskaper for tilslaget i form av trykkfasthet og E-modul er relevante med tanke på egenskaper i betong. I praksis gjennomføres det ikke rutinemessig prøving av bergarters fundamentale mekaniske egenskaper som trykkfasthet og E-modul, men kun i form av Los Angeles verdi (motstand mot knusing), i tillegg til kulemåle og micro-Deval som er relevant for veg-materialer. Det er i noen studier vist at LA-verdi (spesielt for det grove tilslag) er korrelert mot oppnådd E-modul i betong, og til en viss grad også mot oppnådd trykkfasthet i betong. Dersom man hadde hatt fasthet og E-modul tilgjengelig for tilslaget ville det i enda større grad vært mulig å forutsi egenskapene i betong. Slik prøving er mulig å få til for tilslag av knust berg, mens tilsvarende prøving ikke vil være mulig for tilslag fra naturgrus.

5.4.2 Tørrbetong

Ved produksjon av tørr/jordfuktig betong til bl.a. belegningsstein, hulldekker og kommunalvarer, er det viktig å tilstrebe betongsammensetning og tilslagsegenskaper som gir tett pakning og lavt vannoppsug. Kornkurver med tett gradering og tilslag med god rundingsgrad gir gjerne tilsktede produktegenskaper. For tørrbetong er det derfor pakningsgraden som er en hovedparameter, viktigere enn v/c-tall og sementmengde. Det viktigste egenskapene å dokumentere for herdede tørrbetonger er densitet og spaltestrekkfasthet. Kravene til slike betongtyper er ikke dekket av NS-EN 206 + NA, men av egne produktstandarder, eksempelvis NS-EN 1338 + NA, NS-EN 1339 + NA og NS-EN 1340 + NA for henholdsvis belegningsstein av betong, betongheller og kantstein av betong.

5.4.3 Langtidssvinn

Svinn i betong skyldes i all hovedsak svinn i sementlimet. Basert på en del målinger av totalt svinn som ble gjennomført av flere bransjeaktører på 2000-tallet, etablerte Norsk Betongforening publikasjon nr. 15 «Betonggulv» en sammenheng mellom betongens totale svinn, sementtype og betongens effektive vanninnhold. Denne forenklingen ble gjort siden det ikke forelå dokumentasjon på eventuelle effekter av mekaniske egenskaper for ulike norske tilslagsmaterialer.

Tilslaget har imidlertid en indirekte betydning for betongens svinn. En tilslagssammensetning som gir en betong med lavt vannbehov, vil gi en betong med lavere totalt svinn i forhold til om betongen hadde vært proporsjonert med en tilslagssammensetning med høyt vannbehov. I fortsettelse av dette er det også observert mindre svinn ved høyt innhold av grovt tilslag, og ved bruk av skarpkantet grovt tilslag.

Internasjonale studier har også vist at tilslagets svinn kan påvirke svinnet i betongen. I tillegg er det i noen studier vist en korrelasjon mellom økende E-modul i tilslaget og redusert svinn i betongen.

5.4.4 Strekkfasthet

Betongens strekkfasthet kan i stor grad relateres til dens trykkfasthet, hvor forholdet mellom strekkfasthet og trykkfasthet «normalt» sett ligger i området 5-8 %, med avtagende prosentvis strekkfasthet ved økende trykkfasthet. Mange av de samme egenskapene ved tilslaget som styrer trykkfasthet i betong vil gjøre seg gjeldende for strekkfasthet: mekaniske egenskaper hos tilslaget, ruhet/kornform og tilslagets effekt på overgangssonen. Et eksempel fra en nyere norsk undersøkelse viser at spaltestrekkfastheten kan variere fra 4,3 - 6,1 MPa avhengig av type tilslag for betong i fasthetsklasse B45.

5.4.5 Slitasjemotstand

Betong som sliteoverflate kan fungere tilfredsstillende i mange industrielle sammenhenger, men er mindre funksjonell der det kreves at lokalet skal være kjemikalbestandig, hygienisk, lett å rengjøre, slagfast, og tåle mekanisk belastning og slitasje over tid.

Tilslagsfaktorer som har betydning for slitasjemotstand:

- Grovt skjelett, dvs. innhold av grovt tilslag og en tett kornkurve som gir mindre pastainnhold og mindre porer
- Tilslag med høyt innhold av slitesterke mineraler som f.eks. kvart og/eller feltspat

Kubisk, skarpkantet tilslag – knust tilslag er her gjerne bedre enn natursand.

5.4.6 Temperatureffekter

Varmeutvidelseskoeffisienten hos et steinmateriale (tilslag) kan ha betydning der hvor en venter herdning i betongen under høye temperaturer (se kapittel 5.3.12.2), eller der hvor betongen i bruksstadiet forventes utsatt for store temperatursvingninger. Våre vanligste bergarter har en lineær varmeutvidelseskoeffisient som er noe i underkant av det en har for sementpasta. Temperaturutvidelseskoeffisient betyr lite mht. normale bergarter og normalt betongbruk. Men både kvartsrikt (høy utvidelse) og kalkrikt tilslag (lav utvidelse) kan gi problemer ved store (konsentrerte og varierte) temperaturendringer. Aluminiumsindustrien er et spesielt eksempel hvor man gjerne vil ha bergarter som olivin og andre stabile bergarter som har liten utvidelseskoeffisient. Ved bruk av varmekabler i betongen med overliggende skifer- eller flisdekke kan store forskjeller i varmeutvidelseskoeffisient også skape problemer og gi brudd i heftsonen mellom betong og skifer/flisdekke. Kwartsholdige bergarter har i tillegg til høyere utvidelse en annen egenskap som gjør at de bør unngås i tilfeller med høye temperaturer. Ved 573°C er det en overgangsfase fra α -kvarts til β -kvarts som medfører volumutvidelse.

5.4.7 Estetikk og farger

Betongoverflatens estetiske uttrykk kan påvirkes av en rekke faktorer som type sement, betongens masseforhold, type forskaling, utstøpningsteknikk, herdebetingelser etc. For ordinære konstruksjonsbetonger vil fargen på tilslaget normalt sett ha relativt liten innvirkning på overflatens farge. Unntaket er for hvite eller veldig lyse betonger hvor fargen på det fine tilslaget vil kunne ha stor effekt.

I tilfeller hvor man ønsker å frilegge tilslaget (f.eks ved bruk av overflateretarder) eller ved sliping av betongdekker vil naturlig nok tilslaget tre tydeligere fram, og i slike tilfeller vil tilslagets estetiske egenskaper i form av farge, ruhet og kornform være viktige.

Noen bestanddeler av tilslaget (f.eks. reaktive jernsulfider, lettvektige organiske ingredienser) kan føre til flekker på betongoverflater, misfarging, svelling eller oppsprekking. Dette gjelder spesielt når disse stoffene befinner seg nær overflaten.

Referanser

Aasly, K. et. al: Review report on dry and wet classification of filler materials for concrete. State-of-the-art. COIN project report 52-2014. SINTEF Building and Infrastructure, 2014.

Cepuritis, R.: Development of Crushed Sand for Concrete Production with Micro-proportioning. PhD thesis. NTNU 2016.

Danielsen, S.W. med flere: Magnetkis i betongtilslag. Effekt på betongens bestandighet. Statens vegvesen rapport nr. 463, 2019.

Engelsen, C.J, Lindgård, J: Available alkalis and sulphur in recycled aggregates - Calculation based on leaching experiments and total contents in the cement, SINTEF report 2024:00295. 2024.

Jensen, V: Alkali aggregate reactions in Southern Norway. Doctor Technicae Thesis. NTNU, 1993.

Karlsson: Application technology in recycling concrete. Lic. Thesis, Chalmers University of technology, Gothenburg, Sweden, Publication P-00:1.

Lovdata: Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften).

Lovdata: Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften).

Maage, M. (redaktør): Betong: Regelverk, teknologi og utførelse. Byggenærings forlag, 2015.

Miljødirektoratet: Faktaark M-14: Disponering av betong- og teglavfall, 2013.

Moen, F., Myren, S. A., Petkovic, G.: Gjenbruksmaterialer i vegbygging: eksempelsamling. Statens vegvesen Teknologirapport nr. 2574, 2009.

Norsk betongforening, Publikasjon nr. 9: Betongoverflater, 2020.

Norsk betongforening, Publikasjon nr. 18: Tilslagsmaterialer til betongformål, 1988.

Norsk betongforening, Publikasjon nr. 19: Deklarasjons- og godkjenningsordning betongtilslag, 1991.

Norsk betongforening, Publikasjon nr. 21: Bestandig betong med alkalireaktivt tilslag, 2017.

Norsk Betongforening: Publikasjon nr. 32 Alkalireaksjoner i betong. Prøvningsmetoder og krav til laboratorier, 2005.

Norsk betongforening, Rapport nr. 10 Sirkulærøkonomi for betong, 2022.

NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016: Tilslag for betong.

NS-EN 206:20213+A2:2021+NA:2022: Betong -Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar.

NS-EN 932-3:2022: Bestemmelse for generelle egenskaper for tilslag - Del 3: Prosedyre og terminologi for forenklet petrografisk beskrivelse.

NS-EN 932-5:2012: Prøvningsmetoder for generelle egenskaper for tilslag - Del 5: Vanlig utstyr og kalibrering.

NS-EN 933-1:2012: Prøvningsmetode for geometriske egenskaper for tilslag - Del 1: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling – Sikteanalyse

NS-EN 933-3:2012: Prøvningsmetode for geometriske egenskaper for tilslag - Del 3: Bestemmelse av kornform – Flisighetsindeks.

NS-EN 933-6:2022: *Prøvningsmetode for geometriske egenskaper for tilslag – Del 6: Bedømmelse av overflateegenskaper – Strømningskoeffisient for tilslag.*

NS-EN 933-7: Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - Del 7: Bestemmelse av skjellinnhold - Prosentdel av skjell i grovt tilslag.

NS-EN 933-8:2012+A1:2015: Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - Del 8: Bedømmelse av finstoffinnhold - Sandekvivalent-metoden.

NS-EN 933-9:2022: Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - Del 9: Bedømmelse av finstoffinnhold - Metylenblått-metoden

NS-EN 933-11:2020: Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - Del 11: Metode for klassifisering av bestanddelene i grovt resirkulert tilslag.

NS-EN 1097-2:2020: Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag – Del 2: Metoder for bestemmelse av motstand mot knusing.

NS-EN 1097-3:1998: Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag -Del 3: Bestemmelse av løst lagret densitet og hulrominnhold.

NS-EN 1097-6:2022: Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 6: Bestemmelse av korndensitet og vannabsorpsjon.

NS-EN 1367-1:2007: Prøvningsmetoder for termiske egenskaper og forvittringsmotstand for tilslag - Del 1: Bestemmelse av motstand mot frysing og tining.

NS-EN 1367-4:2008: Prøvningsmetoder for termiske egenskaper og forvittringsmotstand for tilslag - Del 4: Bestemmelse av uttørkingssvinn.

NS-EN 1744-1:2009+A1:2012: Prøvningsmetoder for kjemiske egenskaper for tilslag - Del 1: Kjemisk analyse

NS-EN 1744-5:2006: Prøvningsmetoder for kjemiske egenskaper for tilslag - Del 5: Bestemmelse av syreløselige kloridsalter.

NS-EN 1744-6:2006: Prøvningsmetode for kjemiske egenskaper for tilslag - Del 6: Bestemmelse av innflytelsen av vannløselige komponenter fra resirkulert tilslag på begynnende størkning av sement.

NZS 3111 «Flow Cone Test» (New Zealand standard).

Rise, T., Alnæs, L., Rambæk, I.: Kortreist stein. Oppnådde resultater. Sintef Community, 2019.

Statens vegvesen: Vegnormal N400 Bruprosjektering», 2024.

Statens vegvesen: Retningslinje R210: Laboratorieundersøkelser, 2016.

Statens Forurensningstilsyn (STF): Veileder: Helsebaserte tilstandsklasser for forurenset grunn, TA2553, 2009.

Statens Strålevern: StrålevernInfo 6-15: Radon fra tilkjørte masser under bygg – anbefalt grenseverdi, 2015.

Vazquez, E., Hendriks, C. F., Janssen, G M. T., ed.: Proc. International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures. Barcelona, Spain November 2004. Org. By. RILEM TC 198-URM Use of Recycled Materials. 1123 pp. 2004.