

Rapportering av regeringsuppdrag

Alternativa bindemedel till betong

– En sammanfattning av kunskapsläget, i ett hållbarhetsperspektiv

februari 2023

Gry Møl Mortensen, Henrik Tarras, Mattias Göransson,
Olof Taromi Sandström, Katarina Malaga, Elisabeth Helsing,
Peter Utgenannt & Emma Sundling

Diarie-nr: 31-841/2022

RR 2023:02



Omslagsbild: Centralstationen i Göteborg. Här har man ersatt en del av portlandklinkern i betongen med mald granulerad masugnsslagg. Genom att minska cementandelen och ersätta den med slagg har man minskat koldioxidavtrycket med cirka 45 procent i byggnationen. Foto: NCC.

Författare: Gry Møl Mortensen, Henrik Tarras, Mattias Göransson, Olof Taromi Sandström (SGU), Katarina Malaga, Elisabeth Helsing, Peter Utgenannt (RISE) och Emma Sundling (Naturvårdsverket).
Ansvarig enhetschef: Mugdim Islamovic
Granskad av: Lena Lundqvist
Regeringsuppdragets fullständiga namn: Alternativa bindemedel till betong
Redaktör: Johan Sporrang
Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

Förord	5
Sammanfattning	6
Inledning	7
Klimatförbättrad betong	8
Krav på användning av alternativa bindemedel	9
Begrepp och typer av bindemedel till betong	10
Standardiserade bindemedel för betong- och cementprodukter	12
Portlandcement	12
Alternativa bindemedel	12
Standardiserade alternativa bindemedel – tillsatsmaterial typ II och huvudbeståndsdel i cement	12
Standardiserade alternativa bindemedel – huvudbeståndsdelar i ordinära cement	14
Blandcement baserade på portlandcementklinker och alternativa bindemedel	16
Specialcement	16
Historik och trender	18
Potentiella alternativa bindemedel	19
Alternativa bindemedel som har nära till användning eller uppgradering till tillsatsmaterial typ II	19
Naturliga puzzolaner	19
Aktiverade lermaterial	20
Filler av bergmaterial	21
Material bildat vid meteoritnedslag (suevit)	21
Alternativa bindemedel med potential på lång sikt	21
Askor från förbränning av biomassa	21
Bottenaska och flygaska från förbränning av avfall	22
Metallurgisk slagg	23
Gruvavfall	23
Finmaterial från karbonatiserad återvunnen betong	23
Användning av alternativa bindemedel i betong	24
I Sverige	24
I omvärlden	26
Behov av alternativa bindemedel	27
Behov av alternativa bindemedel i Sverige	27
Tillgång på alternativa bindemedel	28
Standardiserade alternativa bindemedel	29

Potentiella alternativa bindemedel	31
CO ₂ -avtryck och livscykelanalys (LCA) för bindemedel	36
CCS i samband med cementtillverkning	37
Hållbar materialförsörjning.....	38
Möjligheter och hinder för återanvändning och återvinning av cement och betong	38
Återanvändning	39
Återvinning.....	39
Juridiska villkor.....	40
Återvinning och återanvändning med stöd av miljöbalken och gemensam EU-lagstiftning	40
Prövning av miljöfarlig verksamhet.....	44
Ballast till betong – behov, användbarhet och tillgänglighet.....	47
Behov av betongballast.....	48
Berggrundens användbarhet som betongballast.....	50
Markens tillgänglighet för utvinningsverksamhet för berggrund lämplig som betongballast.....	53
Diskussion och kommentarer.....	55
Potential för alternativa bindemedel med hög teknisk mognadsgrad (TRL)	56
Potential för alternativa bindemedel som har en lägre teknisk mognadsgrad (TRL)	57
Återvinning och återanvändning	58
Hur kan potentiella alternativa bindemedel introduceras på marknaden?	59
Jämförelse av olika bindemedel	60
Slutsatser och rekommendationer.....	61
Referenser.....	64
Bilaga 1. Intervjufrågor till referensgruppmedlemmar.....	70
Bilaga 2. Standardisering och kvalitetssäkring av bindemedel	72
Bilaga 3. Källförteckning för de standarder som beskrivs i rapporten.....	77

FÖRORD

Cement är en av huvudbeståndsdelarna i betong som är ett av de mest använda byggmaterialen i världen. Cement och betong har ett stort klimatavtryck och i syfte att uppnå en klimatiförbättrad betong med lägre koldioxidavtryck används alternativa bindemedel som ersättning för delar av cementen.

I Sverige utgörs befintliga alternativa bindemedel av mald granulerad masugnsslagg, flygaska från koleldade kraftverk och silikastoft. Tillgången till dessa förväntas minska i framtiden så nya alternativa bindemedel behöver därför implementeras på den svenska marknaden. Det som bedöms ha störst potential i ett kortare perspektiv är naturliga puzzolaner. Dessa består främst av vulkaniska material och askor som inte finns i svensk berggrund och behöver därför importeras. Ett annat material som bedöms ha bra förutsättningar att användas som alternativt bindemedel är lera och lerstenar. Dessa finns i betydande fyndigheter i Sverige men behöver utredas ytterligare.

Identifiering och utvärdering av nya alternativa bindemedel innebär också utmaningar. Materialet ska vara tillgängligt, ha rätt egenskaper och över tid kunna fungera med andra material, samt bidra till en hög hållfasthet och beständighet. Att certifiera nya material mot produktstandard är avgörande för att kunna implementera nya alternativa bindemedel på ett säkert sätt. För att minska samhällets sårbarhet är det dessutom viktigt att ha tillgång till flera olika alternativa bindemedel.

Denna rapport redovisar kunskapsläget gällande alternativa bindemedel till betong, både befintliga och potentiella på kort och på lång sikt, tillgången till dessa, samt ger förslag på åtgärder nödvändiga för etablering och användning av ny alternativa bindemedel. Rapporten har utarbetats av SGU (projektledare Gry Møl Mortensen, Olof Taromi Sandström, Henrik Tarras, Mattias Göransson) tillsammans med RISE (Katarina Malaga, Peter Utgenannt, Elisabeth Helsing) och Naturvårdsverket (Emma Sundling).

Uppsala, februari 2023

Anneli Wirtén

Generaldirektör

SAMMANFATTNING

Betong är ett av de mest använda byggnadsmaterialen i världen. Cement som tillsammans med vatten, sten och grus utgör huvudbeståndsdelarna i betong har generellt sett ett högt koldioxidavtryck. Avtrycket kan sänkas och en klimatförbättrad betong fås genom att använda olika alternativa bindemedel vid sidan av traditionell portlandcement (som produceras från kalksten). Det finns få produktcertifierade och kvalitetskontrollerade alternativa bindemedel på marknaden i dag. De som finns har använts under lång tid och är välbeprövade. Framför allt rör det sig om mald granulerad masugnsslagg, flygaska från kolkraft och i mindre mängder silikastoft. Tillgången på dessa förväntas minska i framtiden samtidigt som behovet av alternativa bindemedel kommer att öka, vilket har lett till att forskning kring möjliga kandidater har intensifierats inom EU. I denna rapport görs en genomgång av de på marknaden befintliga alternativa bindemedel samt potentiella alternativa bindemedel för framtiden, med ett större fokus på de senare.

De framtida alternativa bindemedel som bedöms ha störst potential och som bedöms kunna implementeras inom relativ närtid är naturliga puzzolaner. Dessa utgörs av vulkaniska material och askor eller andra sedimentära avlagringar med puzzolana egenskaper. Bedömningen är att dessa material har förutsättning att kunna implementeras i större skala relativt snart inom cementtillverkning, men också som tillsatsmaterial i betong. Naturliga puzzolaner finns att tillgå i framför allt vulkaniskt aktiva områden där de kan förekomma i riklig mängd.

Ett annat material som bedöms ha potential att bli ett viktigt alternativt bindemedel i framtiden är lera. Genom att kalcinera (bränna) lera eller genom mekanisk aktivering av denna kan detta material utgöra en viktig beståndsdel i framtida betongbyggnationer. Det finns betydande fyndigheter av lera i Sverige men ännu ingen produktion till cement- eller betongändamål. Det finns redan patenterade produkter och erfarenheter från andra länder, samt flera forskningsresultat från Sverige som visar att vissa typer av leror är lämpliga råvaror för tillverkning av alternativa bindemedel.

Utöver naturliga vulkaniska puzzolaner och leror finns det ett antal olika material som kan komma att utvecklas till funktionella alternativa bindemedel. Några exempel på möjliga material är metallurgiska slagger, gruvavfall, aska från förbränning av biomassor eller avfall och återvunnet finmaterial från gammal betong. För att dessa material ska kunna bli fullvärdiga alternativa bindemedel krävs omfattande utvecklings-, provnings-, standardiserings- och certifieringsarbete (Malaga m.fl. 2022). Tillgången och tillgängligheten av dessa material måste också vara god för att de ska bli ekonomiskt och praktiskt möjliga att använda i någon betydande omfattning i cement- och betongproduktion.

I Sverige produceras årligen cirka 2,8 miljoner ton cement (Cementa 2023) och behovet av alternativa bindemedel är inte tillgodosett med inhemsk produktion. För att kunna uppfylla den lägsta nivån av klimatförbättrad betong där 10 % av portlandcementen ersätts med till exempel masugnsslagg behövs det cirka 300 000 ton av detta material. Om all betong producerad i Sverige skulle utnyttja maximalt användande av alternativa bindemedel enligt det befintliga regelverket och vägledningen för klimatförbättrad betong (Svensk betong 2022) skulle behovet tredubblas. Det innebär ett behov på cirka 1 miljon ton alternativa bindemedel årligen. Då utvecklingen går mot minskad framställan av masugnsslagg och flygaska från koleldade kraftverk i Europa samtidigt som behoven av alternativa bindemedel ökar, inte bara i Sverige utan i hela Europa och resten av världen, finns ett stort behov av att utveckla och implementera nya alternativa bindemedel.

Det är med dagens teknik och materialkunnande inte möjligt att helt frånga användandet av portlandcement. Portlandcement är ett bra bindemedel med många goda egenskaper men med ett högt koldioxidavtryck. Mycket av den betongen används i dag för att bygga komplicerade och viktiga byggnadsverk som bostadshus, kontors- och näringslivsfastigheter och infrastruktur-anläggningar som broar och tunnlar. Dessa har höga värden och en lång förväntad livslängd, ofta

100 år eller mer. Byggnadsverken behöver därför konstrueras med välbeprövade och beständiga material. Introduktion av stora mängder nya obeprövade alternativa bindemedel bör ske med ett visst mått av försiktighet. För att nya material ska komma till bred användning och introduceras på marknaden är det av stor vikt att kunna certifiera nya produkter mot en produktstandard där utvecklingen av nya material bör göras med vetenskap som grund.

INLEDNING

För att tillverka betong behövs ett fungerande bindemedel som limmar ihop sand- och stenpartiklar i betongen och slutligen får den att hårdna. Vanligen används cement, som huvudsakligen är baserat på det kalkbaserade bindemedlet portlandcementklinker, men det finns också alternativa bindemedel. Cement med enbart portlandcementklinker som bindemedel kallas för portlandcement. Den dominerande råvaran vid framställning av portlandcementklinker är kalksten. När portlandcementklinkern produceras avgas koldioxid (CO₂). Denna process står för cirka 90 % av betongens klimatpåverkan. Genom att ersätta en del av portlandcementklinkern med andra material kan betongens klimatpåverkan reduceras.

Sveriges geologiska undersökning (SGU) fick i sitt regleringsbrev för 2022 regeringsuppdraget Alternativa bindemedel (uppdrag 5) med följande innehåll:

”SGU ska identifiera och föreslå åtgärder som kan öka tillgången på och underlätta tillhandahållandet av alternativa bindemedel till betong. Uppdraget innefattar bland annat insatser för att, tillsammans med berörda myndigheter, verka för en hållbar och långsiktigt stabil materialförsörjning till byggsektorn med minskad miljö- och klimatpåverkan. Syftet är att, genom bättre kunskap om ersättningsmaterial, förbättra förutsättningar för en cirkulär ekonomi och därigenom minska behov och sårbarhet kopplad till icke förnybara råvaror och/eller import av sådana. Uppdraget ska redovisas till Regeringskansliet (Näringsdepartementet) senast den 1 mars 2023”.

Uppdraget har genomförts i projektform tillsammans med RISE och Naturvårdsverket, där RISE i huvudsak har bidragit med merparten av det tekniska innehållet i rapporten och Naturvårdsverket i huvudsak har bidragit med de juridiska delarna. Resultaten från projektet beskrivs i rapporten och utgörs av en översiktlig kunskapssammanställning för alternativa bindemedel, källor och tillgång till dessa, samt aspekter av hållbar materialförsörjning. Rapporten ska betraktas som en förstudie som beskriver dels den kunskap och tillgång som finns i Sverige i dag gällande alternativa bindemedel i betong, dels vilka åtgärder som har identifierats kunna främja tillgången på och underlätta tillhandahållandet av alternativa bindemedel i betong.

Mycket kunskap och erfarenhet finns inom forskningsinstitut, akademi och bransch. För att ta del av detta tillsatte projektet en referensgrupp med experter från Umeås universitet (UMU), Chalmers tekniska högskola, Statens geotekniska institut (SGI), Svensk betong, Sveriges bergmaterialindustri (SBMI), Jernkontoret, Skanska och Thomas Concrete Group. Utöver introduktions- och resultatmöten genomfördes åtta enskilda intervjuer med referensgruppens parter. Fokus var på erfarenheter från användning av alternativa bindemedel, tekniska frågor, samarbeten, hinder och import, se bilaga 1. Synpunkter och kommentarer från intervjuer och övriga samtal har bakats in i texten under relevanta avsnitt i rapporten.

För ökad transparens genomfördes även ett öppet seminarium i projektets slutfas i december 2022 där bransch, akademi och allmänhet hade möjlighet till insikt i projektet och till att ge synpunkter. 88 personer deltog och bidrog till diskussioner i seminariet.

Rapporten syftar till att ge en sammanfattning av det befintliga kunskapsläget gällande alternativ till ren portlandcementklinker och som tillsatsmaterial i betong samt föreslå åtgärder för att underlätta tillhandahållandet av dessa. Ett speciellt fokus läggs på de material som i dag inte används i någon större omfattning men som kan komma att bli viktiga i framtiden för att betong

ska kunna tillverkas med så lågt CO₂-avtryck som möjligt. Rapporten kommer inte att ge en fullständig redovisning av all kunskap rörande alla möjliga alternativa bindemedel, men en inblick i den kunskap som finns i dag gällande de alternativa bindemedel som i dagsläget verkar ha störst potential för vidareutveckling och användning inom svenska betongindustrin.

KLIMATFÖRBÄTTRAD BETONG

Under det senaste decenniet har världens strävan att minska betongens klimatpåverkan ökat allt mer. Den svenska cement- och betongbranschen tog 2018 fram två ambitiösa färdplaner (Fossilfritt Sverige 2018a, 2018b) för ett klimatneutralt byggande med betong. De åtgärder som föreslås är dels att minska utsläppet av koldioxid till atmosfären vid tillverkningen av portlandcementklinker, dels att ersätta delar av portlandcementen med alternativa bindemedel. Detta måste göras utan att betongens beständighet försämras och konstruktionernas livslängd förkortas.

Betong består av sand, naturgrus eller krossad sten samt bindemedel och vatten. Portlandcement är det mest använda bindemedlet för betong men det finns ett antal godkända cement som innehåller väl bestämda mängder av alternativa bindemedel och med motsvarande egenskaper som portlandcement. Det finns också ett antal nya material som kan fungera som potentiella kandidater till bindemedel. Påverkan av de alternativa bindemedel som används i dag, främst flygaska från koleldade kraftverk och mald granulerad masugnsslagg (GGBS), är relativt väl känd. Tillgången på dessa material är begränsad och kommer att minska i takt med att man stänger kolkraftverk och förändrar processen för tillverkning av stål som i dag ger användbar slagg. På sikt behövs det andra källor till alternativa bindemedel. Ett exempel på ett potentiellt alternativt bindemedel är lera som om det aktiveras, bränns vid 600–800 °C och mals, kan ersätta en del av portlandcementen. Hur nya material påverkar betongens beständighet är fortfarande föremål för forskning och utveckling. De flesta betongkonstruktioner konstrueras för en livslängd på minst 50 år och många anläggningskonstruktioner för 100 år eller mer. Under denna tid kan de utsättas för tuffa miljöer som verkar nedbrytande på betongen. God kunskap om hur olika alternativa bindemedel påverkar beständigheten är därför avgörande.

Den svenska tillämpningsstandarden (SS 137003) till den europeiska betongstandarden (EN 206) anger vilka krav som ska uppfyllas för att säkerställa en betongkonstruktions beständighet. Denna standard revideras med jämna mellanrum, senast i december 2021. I den senaste utgåvan tillåts större användning av alternativa bindemedel än i de tidigare utgåvorna. I de fall erfarenheter av ett alternativt bindemedel som ingår i ett fabriktillverkat blandcement saknas eller kunskapen om dess påverkan på betongens beständighetsegenskaper är bristfällig, tillåter SS 137003 att särskilda provningar, så kallad kvalifikationsprovning, genomförs för att klargöra blandcementens lämplighet för den avsedda användningen. Att SS 137003 successivt tillåter större användning av alternativa bindemedel medför att efterfrågan på betong med lägre CO₂-avtryck bättre kan tillgodoses. Detta ökar också incitamentet för byggherrar och beställare att kräva att klimatförbättrad betong används i deras byggprojekt. Betongtillverkare kommer då också att ta fram nya betongrecept med högre andel alternativa bindemedel i allt snabbare takt. I bilaga 2 finns en utförlig beskrivning av standardisering och kvalitetssäkring av bindemedel, och i bilaga 3 en källförteckning för standarder.

Om de möjligheter som nuvarande standarder medger används fullt ut kan mängden alternativa bindemedel som används i svenska byggprojekt flerfaldigas med en betydande minskning av betongens CO₂-avtryck som följd. Frågan är om marknaden kan tillgodose de behov av alternativa bindemedel som då skulle uppstå, om standardens möjligheter användes till fullo? Med tanke på att de i dag primära alternativa bindemedlen, flygaska och masugnsslagg, båda är material som det troligen kommer att bli brist på i en inte allt för avlägsen framtid, innebär det att det är nödvändigt att finna ytterligare lämpliga material.

Krav på användning av alternativa bindemedel

I Europa har cement och betong producerats och använts de senaste 200 åren. Det var också för dessa material som de första kvalitetsspecifikationerna och standarderna utarbetades. Alla material som kommer från bi- eller avfallsflöden från produktion av andra material, och är tänkta att användas i cement och konstruktionsbetong, måste uppfylla kvalitetsnivåerna som gäller för cement och betong.

Nya konstruktionsmaterial bör därför:

- inte negativt ändra den långsiktiga beständigheten hos armerad betong
- inte minska armerad betongs tekniska prestanda
- inte påverka miljön negativt genom att läcka ut skadliga ämnen i mark eller dricksvatten
- inte påverka människor genom att tillföra skadliga ämnen till inomhusluften
- inte ändra de färskas betongegenskaper negativt
- inte skada byggnadsarbetare som hanterar betongen
- ge konstruktioner samma säkerhetsnivå som de traditionella materialen
- ha kontrollerade och certifierade egenskaper.

I de fall någon betongegenskap påverkas negativt av materialet ska det finnas sätt att motverka detta som inte leder till andra negativa effekter.

Det finns även ekonomiska krav:

- Materialet ska vara överkomligt och inte öka kostnaderna för byggande och byggprodukter alltför mycket.
- Materialet ska vara regionalt tillgängligt och finnas i tillräckliga mängder.
- Leverans- och logistikkedjor för hantering av materialet måste finnas på plats.

Sekundära material från avfallsflöden kan ha variation i kemisk sammansättning, partikelstorlek, och innehåll av skadliga ämnen. Detta innebär ofta ett hinder för användningen oavsett om standarder och tillämpningsregler definierats. Kraven kan begränsa eller helt stoppa användning av specifika sekundära material i betong eller cement. När så är fallet måste åtgärder vidtas för att möjliggöra en kostnadseffektiv lösning så att kraven uppfylls.

Det finns alltid en risk för att sekundära material från avfallsflöden inte accepteras av slutanvändaren om marknadsföringen är bristfällig eller felaktig. Efter att man säkerställt att det potentiella alternativa bindemedlet uppfyller de tekniska och ekonomiska specifikationerna för sin användning, och ger konstruktioner med likvärdig beständighet och livslängd, måste det till informationsinsatser för att öka acceptansen hos slutanvändarna.

BEGREPP OCH TYPER AV BINDEMEDEL TILL BETONG

Bindemedel i betong utgörs vanligtvis av finkorniga oorganiska mineraliska material. Den kemiska reaktionen som binder ihop betongen kan vara antingen hydraulisk, latent hydraulisk eller puzzolan eller en kombination av dessa reaktionstyper.

Hydrauliska bindemedel reagerar med vatten och bildar ett fast material även under vatten. De vanligaste hydrauliska bindemedlen är portlandcement och hydraulisk kalk.

Latent hydrauliska bindemedel kräver en aktivator för att reagera som ett hydrauliskt bindemedel. Aktivatorn kan vara till exempel hydroxyljoner (-OH) som frigörs när portlandcement reagerar med vatten eller alkalier. Mald granulerad masugnsslagg (GGBS) är ett huvudsakligen latent hydrauliskt bindemedel.

Ett puzzolant bindemedel består till största delen av kiseldioxid (SiO_2) som reagerar med kalciumhydroxid som frigörs när portlandcement reagerar med vatten och bildar kalciumsilikat med goda cementegenskaper. Ordet puzzolan härrör från staden Pozzuoli som ligger i närheten av Vesuvius i Italien, där det finns vulkanisk aska som användes i bruk och betong redan under romartiden. Puzzolaner delas in i naturliga puzzolaner och industriella puzzolaner.

Naturliga puzzolaner är främst amorfa (glasiga, icke-kristallina) aluminiumsilikater eller amorf kiseldioxid. Dessa är milt reaktiva material som förekommer i vulkaniska regioner i världen eller sedimentära bergarter med lämplig kemisk och mineralogisk sammansättning som gör dem reaktiva, eller som kan göras reaktiva genom bränning vid lägre temperaturer (naturliga kalcinerade puzzolaner).

Industriella puzzolaner är restprodukter från industriella processer som har puzzolana egenskaper. Exempel på industriella puzzolaner är silikastoft och kiselrik flygaska.

Portlandcement är en cement med enbart portlandcementklinker som bindemedel. Portlandcementklinker är en produkt som tillverkas genom upphettning av kalksten tillsammans med lera eller mörkel (en kalk-lermineralblandning) till cirka $1450\text{ }^\circ\text{C}$. Vid upphettningen avgår koldioxid genom att kalkstenen (CaCO_3) omvandlas till kalciumoxid (CaO) och koldioxid (CO_2). Beroende på vilket bränsle som används till upphettningen kan även detta bidra till utsläpp av koldioxid. Klinkern mals därefter tillsammans med små mängder cementtillsatser.

Alternativa bindemedel används som ett samlingsbegrepp för alla andra bindemedel i betong än portlandcement. De kan regera hydrauliskt, latent hydrauliskt eller puzzolant och bildar föreningar som är snarlika dem som bildas när portlandcement reagerar. I betongstandarden kallas de tillsatsmaterial typ II, vilket står för reaktiva tillsatsmaterial som tillsätts när betong blandas, och när de ingår i fabrikstillverkade cement benämns de ”andra huvudbeståndsdelar än portlandcementklinker”. I allmänt tal kallas de ofta bara tillsatsmaterial. I Sverige används även ibland den engelska förkortningen SCM, ”*Supplementary Cementitious Materials*”. Alternativa bindemedel utgörs ofta av restprodukter från annan industriell tillverkning eller av naturliga eller kalcinerade puzzolaner. Alternativa bindemedel ger betongen lägre CO_2 -avtryck än vad som fås med en ren portlandcement.

Standardiserade alternativa bindemedel används i denna rapport för alternativa bindemedel som omfattas av regler gällande produktkrav och användning i standarder, antingen som en huvudbeståndsdel i en standardiserad cement eller som ett tillsatsmaterial typ II till betong. Standardiserade tillsatsmaterial typ II är mald granulerad masugnsslagg (GGBS) från stål-tillverkning, kiselrik flygaska från kolkraftverk, och silikastoft från tillverkning av kisel och kisellegeringar. Standardiserade alternativa bindemedel är sådana vars inverkan på betongens egenskaper och beständighet är väl känd då de använts under en längre tid inom Europa och forskningsunderlaget om dem är omfattande.

Den europeiska betongstandarden (SS-EN 206) innehåller regler för deras användning i betong. När alternativa bindemedel inte ingår i ett fabriktillverkat blandcement utan tillsätts direkt i betongblandaren räknas dess bidrag till betongens hållfasthet och beständighet ner med en k -faktor (vanligtvis < 1). För de standardiserade alternativa bindemedlen masugnsslagg, flygaska från kolkraftverk och silikastoft anges tillämpbara k -värden i den europeiska betongstandarden och den svenska tillämpningsstandarden. För att potentialen hos masugnsslagg och flygaska ska kunna utnyttjas bättre när de tillsätts i betongblandaren finns enligt SS 137003 möjligheten att påvisa att man kan använda ett förhöjt k -värde eller påvisa att denna bindemedelskombination är likvärdig med ett motsvarande fabriktillverkat blandcement och kan betraktas som ett sådant (konceptet EPCC, likvärdig prestanda hos bindemedelskombinationer). Båda dessa möjligheter kräver utökade provningar. För icke-standardiserade alternativa bindemedel finns inga fastställda k -värden.

Som huvudbeståndsdelar i standardiserade ordinära cement (SS-EN 197-1 och SS-EN 197-5) används förutom masugnsslagg, flygaska från kolkraftverk och silikastoft även kalciumrik flygaska, naturliga och kalcinerade puzzolaner, bränd skiffer och kalkstenspulver.

I betongstandard SS-EN 206 omnämns även tillsatsmaterial typ I. Dessa är inerta mineraliska material som inte bidrar nämnvärt till betongens hållfasthet och räknas därför inte som alternativa bindemedel och behandlas därför inte vidare i denna rapport.

Potentiella alternativa bindemedel används i denna rapport som beteckning för material som är kandidater till att bli alternativa bindemedel men som det ännu inte finns allmänt accepterade standarder för och inga regler för hur de kan användas i betong eller i cement. När det gäller vissa av dessa material pågår i nuläget forskning för att dels specificera produktkrav på materialen för att de ska vara lämpliga att använda i betong eller cement, dels kartlägga vilken inverkan de har på betongens egenskaper och beständighet. När det gäller vissa andra potentiella alternativa bindemedel ligger utvecklingen inte lika långt fram, och det krävs mer omfattande insatser för att de ska kunna införas i praktiken.

Blandcement används i denna rapport som beteckning för fabriktillverkade standardiserade cement som innehåller portlandcement och vissa alternativa bindemedel. Eftersom fabriktillverkning av cement är utsatt för en mycket ingående kvalitetssäkring tillåts utöver kiselrik flygaska, silikastoft och slagg, även naturliga och kalcinerade puzzolaner, kalciumrik flygaska, bränd skiffer och kalkstenspulver som huvudbeståndsdelar i standardiserade blandcement enligt de krav som anges i cementstandarden.

Cement är en generell term som används för fabriktillverkad:

- portlandcement
- blandcement (portlandcement + vissa alternativa bindemedel)
- specialcement baserade på andra bindemedel än portlandcement. Dessa typer av cement har snävare användningsområde än de övriga två typerna. De kan till exempel vara avsedda för reparationer, avjämningsmassor, ingjutning av sprickor, eller för eldfast bruk.

Ordinära cement är portlandcement och blandcement som har en generell användning för tillverkning av nya betongkonstruktioner. Sammansättningen för dessa cement beskrivs i SS-EN 197-1 och SS-EN 197-5, se tabell 1 och 2.

STANDARDISERADE BINDEMEDEL FÖR BETONG- OCH CEMENTPRODUKTER

Portlandcement

Portlandcementklinker är en produkt som tillverkas genom upphettning av kalksten med lera eller mörkel i väl bestämda viktproportioner till cirka 1450 °C. Den färdiga brända produkten kallas för klinker. Klinkern mals tillsammans med små mängder gips och andra tillsatser till en portlandcement. Portlandcement är ett finmalt, icke-metalliskt, oorganiskt bindemedel i pulverform som vid kontakt med vatten reagerar hydrauliskt och bildar en cementpasta som härdar till ett fast material.

Portlandcement är den mest använda cementen i världen och den patenterades 1824. Utveckling av cementmaterial har pågått sedan mitten på 1800-talet och har anpassats till olika användningsområden och klimatförutsättningar. Varje förändring av sammansättningen på råmaterialen kalksten, lera, mörkel, ger variationer i cementens egenskaper som måste provas och utvärderas. Trots att portlandcement är patenterad varierar sammansättningen utifrån lokalt tillgängliga råvaror. Portlandcement producerad i olika länder kommer därför att skilja sig åt även om de klassas som samma cementtyp.

Krav på portlandcement specificeras i den europeiska cementstandarden SS-EN 197-1 och betecknas CEM I. Den ska innehålla minst 95 % rent portlandcementklinker.

Alternativa bindemedel

Standardiserade alternativa bindemedel – tillsatsmaterial typ II och huvudbeståndsdel i cement

Sverige har en begränsad tillgång till alternativa bindemedel och det används i dag primärt två typer, flygaska från kolkraftverk och granulerad masugnsslagg från stålindustrin. Nedan listas de alternativa bindemedel som i dag är standardiserade. Alla produceras dock inte i Sverige.

Mald granulerad masugnsslagg (GGBS)

Masugnsslagg är en restprodukt från järnframställning där syre tas bort från järnmalmen med hjälp av kol och koks. Järnmalmen består inte enbart av järnoxid utan innehåller också andra mineral som avskiljs genom att tillsätta slaggbildare som kalksten och dolomit. Vid snabbkylning med vatten fås ett grusliknande material som benämns granulerad masugnsslagg. Den snabba nedkylningen medför att slaggen inte hinner kristallisera utan får en glasig (amorf) struktur. Slaggen mals sedan och benämns mald granulerad masugnsslagg – på engelska GGBS (*ground granulated blast furnace slag*) (Svensk Byggtjänst 2021). Denna beteckning används även i Sverige.

GGBS är ett latent hydrauliskt material, vilket innebär att GGBS, förutom vatten, behöver en alkalisk aktivator för att reagera. Vid reaktionen bildas kalciumsilikathydrater som dock skiljer sig något från de som bildas vid portlandcementens hydratisering (något lägre CaO-halt).

GGBS kan antingen tillsättas till betong som ett mineraliskt tillsatsmaterial typ II eller ingå som en huvudbeståndsdel i cement. GGBS för användning som tillsatsmaterial typ II i betong har standardiserats i SS-EN 15167-1 där bland annat krav på reaktivitet och kemisk sammansättning specificeras. För användning i cement anges kraven på GGBS i cementstandarderna SS-EN 197-1 och SS-EN 197-5. GGBS kan även ingå med höga andelar i slaggcement CEM III. Då GGBS är latent hydrauliskt kan en relativt stor del av portlandcementklinkern ersättas med GGBS, och i cementstandarderna specificeras slaggcement med upp till 95 % GGBS, se tabell 1 och tabell 2. Enligt betongstandarden begränsas användningen av GGBS som tillsatsmaterial typ II till 50 % av bindemedelshalten varvid *k*-värde tillämpas (Svensk Byggtjänst 2021).

Cement med masugnsslagg innehåller vanligen lite mindre alkalier och lite mer kvarts och aluminium än vanlig portlandcement. Egenskaper som arbetbarhet och hållfasthet för betong innehållande masugnsslagg är lite bättre än för betong som bara innehåller cement.

Kiselrik flygaska (från kolkraftverk)

Flygaska är en restprodukt från koleldad produktion av elektricitet. Upp till 85 % av den aska som bildas vid koleldade kraftstationer är flygaska. Det är den icke brännbara mineraliska delen av kolet som kallas flygaska. Flygaskan består i huvudsak av sfäriska partiklar i samma storleksordning som cement, ungefär 10–100 µm (Gollakota m.fl. 2019, U.S. Department of Transportation 2017, Svensk Byggtjänst 2021). Mineralogiskt utgörs den huvudsakligen av amorfa (glasiga) men även kristallina faser. Askan är sammansatt av oxider av kisel, aluminium, järn och kalcium beroende på vilken typ av kol som används. Utöver detta innehåller flygaska en viss mängd oförbränt kol, så kallat restkol.

Det finns två klasser av flygaska, kiselrik och kalciumrik. Den kiselrika flygaskan har puzzolana egenskaper medan den kalciumrika till viss del även har hydrauliska egenskaper. I den kiselrika flygaskan begränsas andelen reaktiv kalciumoxid till högst 10 % samtidigt som andelen reaktiv kiseldioxid inte ska understiga 25 %. Det är enbart den kiselrika flygaskan som accepteras som tillsatsmaterial typ II i betong och som standardiseras i SS-EN 450-1. Vid användning som huvudbeståndsdel i cement enligt SS-EN 197-1 och SS-EN 197-5 anges kraven i dessa standarder. Kiselrik flygaska kan även ingå i puzzolancement CEM IV eller kompositcement CEM V och CEM VI (se tabell 1 och tabell 2). I ordinära cement enligt SS-EN 197-1 och SS-EN 197-5 specificeras en ersättningsnivå på högst 50 % av bindemedelshalten. Enligt betongstandarden begränsas användningen av kiselrik flygaska som tillsatsmaterial typ II med användning av k -värde till 25 % av bindemedelshalten.

Silikastoft

Silikastoft är ett restmaterial som bildas vid tillverkning av stållegeringar. Det är ett mycket fin-kornigt material, upp till 100 gånger mindre partikelstorlek än vanligt portlandcement och med mycket hög specifik yta. I dag används silikastoft för att öka betongens vidhäftning, dess arbetbarhet och dess hållfasthet. Det används framför allt som ett tillsatsmaterial för högpresterande betonganläggningar, till exempel vid byggandet av särskilt känsliga och viktiga tunnlar eller skyskrapor. Ett aktuellt byggnadsprojekt där man använt sig av silikastoft är Karlatornet i Göteborg (se figur 1).

En nackdel med silikastoft är dess höga dispersionsegenskaper som leder till att det krävs mycket vatten för den betong som ska tillverkas. Att ersätta cement med silikastoft fungerar upp till cirka 10 % där ersättningen kan öka eller bibehålla hållfasthetsegenskaperna (Harish 2015). Vid mer än 10 % inblandning av silikastoft förändras dock cementens egenskaper för mycket och som praxis är det vanligt att man använder en ersättningsnivå på silikastoft mellan 0 och 5 %. En utmaning med en storskalig användning av silikastoft som ett alternativt bindemedel till ordinär cement är dess pris som är 3–5 gånger högre än ordinär portlandcement.

Silikastoft för användning som tillsatsmaterial typ II i betong är standardiserat enligt SS EN 13263-1. Den innehåller två klasser av silikastoft, Klass 1 med minst 85 % SiO₂ och Klass 2 med minst 80 % SiO₂. Det finns gränsvärden för mängden CaO, SO₃, Cl samt för glödförlust och specifik yta.

Därutöver ska silikastoft ha ett aktivitetsindex på 100 %, vilket innebär att en bruksblandning med 90 % portlandcement och 10 % silikastoft ska ge minst samma hållfasthet efter 28 dygn som ett bruk med enbart portlandcement. Maximalt 10 % silikastoft kan också ingå som en huvudbeståndsdel i cement enligt SS EN 197-1 och SS-EN 197-5 eller i puzzolancement CEM IV eller



Figur 1. Karlatornet i Göteborg. För att uppnå en klimatförbättrad betong har man till denna byggnation bland annat använt masugnsslagg samt silikastoft som tillsatsmaterial. Foto: Henrik Tarras, SGU.

kompositcement CEM V och CEM VI (se tabell 1 och tabell 2). En ersättningsnivå på 10 % accepteras när silikastoft används som tillsatsmaterial typ II i betong enligt betongstandarden.

År 2015 gavs standarden SS-EN 16622 ut vilken behandlar silikakalciumstoft för användning som tillsatsmaterial typ II i betong. Silikakalciumstoft är en restprodukt från den karbotermiska processen för tillverkning av kiselkalciumlegeringar. Den innehåller minst 70 % SiO_2 och mellan 10 och 20 % CaO . Den har både puzzolana och hydrauliska egenskaper. Kornstorleken kan vara marginellt lägre än för silikastoft. Det finns dock ännu inga användningsregler för detta material i SS-EN 206 och inga svenska erfarenheter av dess användning, vilket i dag gör det omöjligt att använda i betong i Sverige.

Standardiserade alternativa bindemedel – huvudbeståndsdelar i ordinära cement

De material som tas upp i detta avsnitt är inte allmänt accepterade som tillsatsmaterial typ II i betong men kan ingå som huvudbeståndsdel i ordinära cement enligt SS-EN 197-1 eller SS-EN 197-5. Produktkrav för samtliga material för denna tillämpning som huvudbeståndsdel i cement anges i SS-EN 197-1 och SS-EN 197-5.

Vissa av dessa utgör en delmängd av en typ av material som behandlas mer generellt för eventuell vidare tillämpning under potentiella alternativa material. Det gäller till exempel aktiverade (kalcinerade) lermaterial.

Kalciumrik flygaska

Den kalciumrika flygaskan har både puzzolana och hydrauliska egenskaper. I den kalciumrika flygaskan ska andelen reaktiv kalciumoxid vara minst 10 % medan krav på andel reaktiv kisel-dioxid beror på halt reaktiv kalciumdioxid. Kalkrik flygaska kan ingå i puzzolancement CEM VI, se tabell 1 och 2.

Kalciumrik flygaska är inte allmänt accepterad som tillsatsmaterial typ II i betong.

Naturliga och kalcinerade puzzolaner

Puzzolana material består huvudsakligen av reaktiv kiseldioxid och aluminiumoxid. De hårdnar inte själva vid blandning med vatten, men vid närvaro av vatten och om de är finmalda reagerar de med löst kalciumhydroxid och bildar hållfasthetsutvecklande föreningar av kalciumsilikater och kalciumaluminater liknande de som bildas vid hårdnande av hydrauliska material. Andelen reaktiv kalciumoxid är försumbar. Även om silikastoft och flygaska är puzzolana material behandlas de som separata huvudbeståndsdelar i cementstandarderna SS-EN 197-1 och SS-EN 197-5 och även så i denna rapport.

I detta avsnitt behandlas enbart naturliga puzzolaner som är accepterade som huvudbeståndsdelar i ordinära cement enligt SS-EN 197-1 och SS-EN 197-5. Naturliga puzzolaner och kalcinerade naturliga puzzolaner ska vara finfördelade och innehålla minst 25 % reaktiv kiseldioxid och försumbar halt kalciumoxid.

De naturliga puzzolanerna är vanligen material av vulkaniskt ursprung och bildar en grupp alternativa bindemedel med stor variation och variabilitet. De består främst av pyroklastiskt material (material från ett snabbbrörligt, ofta glödande utsläpp av gas, aska och sten i samband med ett vulkanutbrott) eller sedimentära bergarter med lämpliga kemiska och mineralogiska sammansättningar. Pyroklastisk aska är den mest använda vulkanaskan som alternativt bindemedel (Játiva m.fl. 2021). De naturliga puzzolanerna är milt reaktiva material som innehåller hög andel amorf kiseldioxid och aluminiumoxidglas.

Naturliga *kalcinerade* puzzolaner är material av vulkaniskt ursprung, leror, skiffrar eller sedimentära bergarter som aktiverats genom värmebehandling så att de reagerar puzzolant. Naturliga puzzolaner och kalcinerade puzzolaner ingår i cement CEM V och CEM VI, se tabell 1 och 2.

Puzzolanaskor ingår i ett pågående standardiseringsarbete och målet är att de ska inkluderas som alternativa bindemedel i den kommande versionen av den svenska tillämpningsstandarden SS 1370043.

Bränd skiffer

Lerrika sedimentära bergarter, i första hand lågmetamorfa skiffrar som lerskiffer, används på flera platser i världen som råvara för tillverkning av bindemedel. Bränd skiffer, speciellt bränd oljeskiffer, tillverkas i speciella ugnar vid en temperatur på cirka 800 °C. Sammansättningen av det naturliga materialet och tillverkningsprocessen gör att bränd skiffer innehåller klinkerfaser, som till största delen består av kalcium, silikat och aluminat samt reaktiva puzzolana oxider, speciellt kiseldioxid. Bränd skiffer uppvisar därför både puzzolana och hydrauliska egenskaper. För att vara godkänd som huvudbeståndsdel i ordinära cement enligt SS-EN 197-1 ska den brända skiffern uppnå 25 MPa (megapascal) vid bruksprovning efter 28 dygn och inte uppvisa för stor expansion vid bruksprovning, det vill säga vara volymbeständig.

Kalksten

Kalksten som innehåller minst 75 % kalciumkarbonat (CaCO_3), och inte innehåller mer än en mindre andel lermineral kan när den är finfördelad användas som huvudbeståndsdel i cement. Dess huvudsakliga bidrag till cementens hållfasthetsutveckling beror på att de små kornen fungerar som nukleationskärnor för portlandcementens hydratiseringsprodukter. Malningen kan

dock även ge kalkstenen en begränsad kemisk reaktivitet så att den reagerar med aluminiumoxid för att bilda kalciumkarboaluminathydratfaser som kan bidra till betongens styrka och hållbarhet. Möjligheten att ersätta cement med kalkfiller är begränsad på grund av mängden aluminiumoxid i cement och kalkfillerns låga reaktivitet. Kalksten betecknad **L** får innehålla högst 0,50 % organiskt kol och om halten organiskt kol är högst 0,20 % betecknas den **LL**. I de flesta cement är kalkstenshalten begränsad till högst 20 % men i några fall kan upp till 35 % ingå.

Som alternativt bindemedel accepteras mald kalksten för närvarande enbart när det förekommer i ett fabriksstillverkat cement. Men kalkstensfiller används också som ett inert tillsatsmaterial typ I i betong eller som ballast i betong. Det pågår dock standardisering inom CEN för att göra det möjligt att även använda kalksten som tillsatsmaterial typ II i betong med begränsad reaktivitet.

Blandcement baserade på portlandcementklinker och alternativa bindemedel

I blandcement blandas portlandcementklinker med alternativa bindemedel. De europeiska produktstandarderna för ordinära cement, SS-EN 197-1 och SS-EN 197-5, omfattar blandcement med nio olika alternativa bindemedel (Svensk Byggtjänst 2021). Det grundläggande kriteriet för hur mycket av portlandcementen som kan ersättas är att cementen ska kunna klara de krav som cementstandarden specificerar; tidig hållfasthet och hållfasthet vid 28 dygn, bindetid och volymbeständighet. Dessutom ska vissa kemiska krav uppfyllas, som till exempel högsta sulfathalt och kloridhalt. Latent hydrauliska material som GGBS kan ersätta en relativt stor andel portlandklinker. Puzzolana material, som kräver kalciumhydroxid från portlandcementens hydratisering för att reagera, kan bara ersätta en begränsad del av portlandcementklinkern. Ju mer materialets sammansättning liknar portlandcementklinker, desto högre ersättningsnivå kan tillämpas. När det gäller silikastoft som nästan enbart består av ren amorf kiseldioxid sätts högsta ersättningsnivån till 10 % i ordinära cement. I specialcement och vissa specifika tillämpningar kan högre ersättningsnivåer användas.

Cementstandarderna beaktar inte den påverkan på betongens beständighet som användning av alternativa bindemedel kan ha. Denna aspekt behandlas i betongstandarden. I tabell 1 anges benämning, beteckning och huvudbeståndsdelar för de ordinära cement, portlandcement och blandcement, som specificeras i SS-EN 197-1 och i tabell 2 de som specificeras i SS-EN 197-5.

Specialcement

I början av 1900-talet användes ibland aluminatcement. Aluminatcement består huvudsakligen av kalciumaluminater till skillnad från portlandcement som innehåller högre halt av kalciumsilikater (Locher 2006). Aluminatcement härdar snabbt och ansågs idealiskt för tillämpningar där man behövde kunna riva formarna snabbt. Priset för aluminatcement var tre gånger högre än för portlandcement, vilket gjorde att det inte fick någon bredare tillämpning. I Sverige användes aluminatcement mellan 1926 och 1941. Efter hand observerade man att hållfastheten minskade och porositeten ökade i byggnadsdelar där man använt betong med aluminatcement. Detta berodde på en omvandling av inte helt stabila kalciumaluminathydrat som har en lägre densitet (högre volym), till stabila hydrat med en högre densitet (mindre volym). Den här oönskade omvandlingen kan inträffa efter upp till 30 år i fuktiga miljöer (Locher 2006). På grund av detta förbjöds användning av aluminatcement i lastbärande konstruktioner från och med 1960. Aluminatcement tål höga temperaturer (1500–1600 °C) och används i dag vid gutning av eldfasta komponenter till eldstäder och insatser i värmepannor och i eldfast bruk. Dessutom används det i avjämningsmassor och i reparationsbruk.

SS-EN 14647 är en standard som behandlar kalciumaluminatcement.

Det finns andra typer av cement, som kalciumsulfoaluminatcement, supersulfatcement magnesiacement, fosfatcement, belitcement, alitcement och CSA-belitcement. Dessa cement har särskilda användningsområden och tillverkas inte i någon större omfattning. För dessa finns inga europeiska eller svenska standarder men det kan finnas europeiska tekniska godkännanden (ETA, *European Technical Assessment*)).

Tabell 1. Cementtyper och deras huvudbeståndsdelar enligt SS-EN 197-1.

Benämning	Beteckning	Klinker	Andra huvudbeståndsdelar än klinker
Portlandcement	CEM I	95–100 %	-
Portland-slaggcement	CEM II/A-S	80–94 %	6–20 % GGBS (S)
	CEM II/B-S	65–79 %	21–35 % GGBS (S)
Portland-silikastoftcement	CEM II/A-D	90–94 %	6–10 % silikastoft
Portland-puzzolancement	CEM II/A-P	80–94 %	6–20 % naturliga puzzolaner (P)
	CEM II/B-P	65–79 %	21–35 % naturliga puzzolaner (P)
	CEM II/A-Q	80–94 %	6–20 % naturliga kalcinerade puzzolaner (Q)
	CEM II/B-Q	65–79 %	21–35 % naturliga kalcinerade puzzolaner (Q)
Portland-flygaskecement	CEM II/A-V	80–94 %	6–20 % kiselrik flygaska (V)
	CEM II/B-V	65–79 %	21–35 % kiselrik flygaska (V)
	CEM II/A-W	80–94 %	6–20 % kalkrik flygaska (W)
	CEM II/B-W	65–79 %	21–35 % kalkrik flygaska (W)
Portland-skiffercement	CEM II/A-T	80–94 %	6–20 % bränd skiffer (T)
	CEM II/B-T	65–79 %	21–35 % bränd skiffer (T)
Portland-kalkstenscement	CEM II/A-L	80–94 %	6–20 % kalksten (L)
	CEM II/B-L	65–79 %	21–35 % kalksten (L)
	CEM II/A-LL	80–94 %	6–20 % kalksten (LL)
	CEM II/B-LL	65–79 %	21–35 % kalksten (LL)
Portland-kompositcement	CEM II/A-M	80–94 %	12–20 % tillsammans av S, D, P, Q, V, W, T, L, och/eller LL
	CEM II/B-M	65–79 %	21–35 % tillsammans av S, D, P, Q, V, W, T, L, och/eller LL
Slaggcement	CEM III/A	35–64 %	36–65 % av GGBS
	CEM III/B	20–34 %	66–80 % av GGBS
	CEM III/C	5–19 %	81–95 % av GGBS
Puzzolancement	CEM IV/A	65–89 %	11–35 % av D, P, Q V och/eller W
	CEM IV/B	45–64 %	36–55 % av D, P, Q V och/eller W
Kompositcement	CEM V/A	40–64 %	18–30 S, 18–30 % P, Q och/eller V
	CEM V/B	20–38 %	31–49 S, 31–49 % P, Q och/eller V

Tabell 2. Cementtyper och deras huvudbeståndsdelar enligt SS-EN 197-5.

Benämning	Beteckning	Klinker	Andra huvudbeståndsdelar än klinker
Portland-kompositcement	CEM II/C-M	50–64 %	12–20 % tillsammans av S, D, P, Q, V, W, T, L, och/eller LL
Kompositcement	CEM VI (S-P)	35–49 %	31–59 % GGBS (S), 6–20 % naturliga puzzolaner (P)
	CEM VI (S-V)	35–49 %	31–59 % GGBS (S), 6–20 % kiselrik flygaska (V)
	CEM VI (S-L)	35–49 %	31–59 % GGBS (S), 6–20 % kalksten typ L
	CEM VI (S-LL)	35–49 %	31–59 % GGBS (S), 6–20 % kalksten typ LL

Historik och trender

Ett betongliknande material tillverkat av kalk användes redan av etruskerna. Även i Romarriket användes en antik betong, *opus caementicium*, med ett bindemedel som bestod av bränd kalk och pulveriserat material som innehöll kiselsyra, till exempel krossat tegel eller vulkanaska, puzzolan från Pozzuoli utanför Neapel. Romarna använde denna antika betong till byggnader, akvedukter, amfiteatrar, hamnar, dammar med mera. Efter Romarrikets fall (476 e.Kr.) hamnade betongbyggnadstekniken i glömska (Svensk Byggtjänst 2021, Ahlberg & Löfgren 2022).

Inte förrän runt 1800 utvecklades en första patenterad föregångare till våra dagars portlandcement, den så kallade romancementen. Det ersattes så småningom av portlandcement 1824 då patent togs på denna produkt (Ahlberg & Löfgren 2022).

Redan i slutet av 1800-talet fann man att det gick att ersätta en del av portlandcementen med andra oorganiska material i en cement och ändå få liknande egenskaper. I Tyskland har man använt masugnsslagg (här benämnd hyttsand) i större mängder som en ersättning för klinker sedan 1882. Flygaskor har använts sedan 1930-talet i betong i bland annat Tyskland, och kännedom om att flygaska har liknande egenskaper som cement har funnits sedan början av 1900-talet (Trägårdh 2019).

I Sverige användes slagg under tidigt 1900-tal i slaggcement som till 85 % bestod av slagg eller järnportlandcement som innehöll 30 % slagg. Ingen av dessa cement fick dock någon större användning och tillverkningen upphörde snart. År 1954 började Cementa tillverka en slaggcement som kallades vulkancement. Denna cement användes mest i vattenanläggningar, broar, bostadshus och dammar (till exempel Lindsbyn och Trängslet). Slagginnehållet i vulkancementen varierade mellan 25 och 50 %. Slagg minskar cementens värmeutveckling, vilket ger mindre risk för sprickbildning i betongen men det förlänger härdningstiden. Vintertid innehöll cementen lägre halter slagg på grund av den förlängda härdningstiden och under sommartid innehöll den i stället högre halter. Tillverkningen av vulkancement pågick fram till 1972 med en topp omkring 1962. Från 1978 till 1982 tillverkade Cementa ett annat slaggcement, den så kallade massivcementen, med en slagghalt på 65 % (Fossilfritt Sverige 2018a). Massivcementen användes i vattenanläggningar och kraftverksbyggnader (till exempel Matfors och Skallböle). Betong som gjorts med denna cement visade dock i vissa fall tecken på sprickbildning som sattes i samband med en alltför långsam hållfasthetsutveckling i tidig ålder.

Det har i Sverige även funnits andra blandcement. Pansarcement tillverkades av Skånska Cement AB i två varianter, den ena (Pansar A) innehöll 0–25 % kalcinerad kaolinlera och den andra (Pansar silikat) 10–15 % kalcinerad kaolinlera. Betong med pansarcementet har använts för dammar, kraftverksanläggningar och broar (exempelvis Krängede kraftverk 1933–1936 och Malforskraftverket 1933–1936).

Under andra världskriget fanns i Sverige en temporär brist på stenkolk som var huvudbränsle för cementtugnarna vid cementtillverkningen. Cementtillverkarna blev därför tvungna att försöka upprätthålla produktionen med den minskade bränsletillgången. De utvecklade därför den så kallade ersättningscementen. Ersättningscement eller E-cement innehöll mindre klinker vilket ersattes av mellan 30 och 50 % inmalad slagg, sandsten, kalksten, skifferaska eller andra material. Cementet uppfyllde hållfasthetskravet för klass B. E-cement tillverkades vid sex olika cementfabriker och sammansättningen och typen av inmalat material varierade mellan olika fabriker. Hållfasthetsutvecklingen var lägre hos E-cement jämfört med rent portlandcement, och berodde dels på typ av ersättningsmaterial, dels på malfinheten. Att använda E-cement bedömdes inte ge upphov till någon större risk i byggnader, i vilka ändå den rena portlandcementens hållfasthetsegenskaper inte utnyttjades fullt ut (Ahlberg & Löfgren 2022).

Under 1980-talet gav de svenska cementbestämmelserna möjlighet att även använda cement som innehöll andra hydrauliska eller puzzolana klinkerersättningsmaterial än masugnsslagg.

Runt 1990 kom den första versionen av den europeiska cementstandarden SS-EN 197-1 ut, och började tillämpas i Sverige. I den definieras sammansättning och kvalitetskriterier för olika typer av ordinära portlandcementbaserade cement, portlandcement och blandcement som utöver portlandcementklinker även innehåller alternativa bindemedel (se tabell 1) (Ahlberg & Löfgren 2022).

I Sverige har man fram till i dag främst använt cement med masugnsslagg och cement med högst 20 % kalksten eller flygaska. Att inte cement med högre andelar andra bindemedel använts beror på att användningen av dem i olika miljöer regleras nationellt i Sverige, och det har funnits en viss skepticism när det gäller deras lämplighet på grund av att den påverkan de haft på vissa av betongens beständighetsegenskaper.

Utöver att använda blandcement är det också möjligt att blanda vanligt portlandcement med flygaska, silikastoft eller GGBS i betongblandaren vilket regleras i reglerna för betong. Till att börja med skedde detta under 1980-talet genom Bestämmelser för Betongkonstruktioner, BBK 79 utgåva 2, och från och med 2003 genom hänvisning till den europeiska betongstandarden SS-EN 206-1 och den svenska tillämpningsstandarden till denna, SS 137003.

Även om vi i Sverige började tillämpa den europeiska cementstandarden som definierar 27 olika cementtyper så har inte alla cementtyper ansetts beprövade för användning i svenskt klimat, på grund av att klinkerersättningsmaterialen påverkar betongens egenskaper och att det saknades erfarenhet från användning av dem i svenskt klimat.

I takt med att klimatfrågan blivit allt viktigare, har efterfrågan på betong i vilken portlandcement ersatts med alternativa bindemedel med lägre CO₂-avtryck ökat starkt. Samtidigt har förändrade tillverkningsprocesser för de primära produkterna (som stål) resulterat i att det produceras mindre mängder GGBS och minskad koleldning ger mindre flygaska. Denna utveckling kommer att leda till en allt större brist på de standardiserade alternativa bindemedlen som hittills har använts. I dag strävar man efter att kunna använda nya material som kan ersätta portlandcement, material som det finns en stor tillgång på, som aktiverade leror. Kunskapen om deras inverkan på betongens egenskaper är dock ännu inte lika omfattande som för de etablerade standardiserade alternativa bindemedlen, vilket fördröjer en bred introduktion på marknaden. Mer forskning och provning i laboratorier och i fält krävs, främst gällande inverkan på betongens beständighet, innan nya alternativa bindemedel kan implementeras i stor skala.

POTENTIELLA ALTERNATIVA BINDEMEDEL

Alternativa bindemedel som har nära till användning eller uppgradering till tillsatsmaterial typ II

Naturliga puzzolaner

Det finns fyra huvudtyper av naturliga puzzolana material som kan vara lämpliga för användning i betong. Dessa är vulkanisk aska, amorf kiseldioxid, zeoliter och lermineral.

Vulkanisk aska av pyroklastiskt ursprung som inkluderar icke-konsoliderad vulkanisk aska och pimpsten med varierande puzzolan reaktivitet beroende på kiselhalt och finhet. Vulkanisk aska består av partiklar av alla former och storlekar som uppkommer när magma inuti en vulkan blåses upp i luften av den snabba expansionen av varma vulkaniska gaser. De flesta av de i cement traditionellt använda naturliga puzzolanerna tillhör denna grupp. Vissa typer av vulkaniska material kan ha puzzolana egenskaper efter att de har malts ner. I synnerhet material som härrör

från vulkanisk aska, så kallad vulkanisk tuff. Vulkanisk tuff bildas av nedfall av vulkanisk aska och efterföljande konsolidering, vanligtvis förknippad med en svag termisk eller hydrotermisk påverkan.

Amorf kiseldioxid som antingen bildas eller härstammar från levande organismer eller från hydrotermal aktivitet som bildar relativt mjuka klastiska bergarter som exempelvis diatomit. Med klastiska bergarter avses att de är helt eller delvis uppbyggda av beståndsdelar, klaster (bergartsfragment som existerade före den fragmentförande bergartens bildande och som inte förändrats vid bildandet).

Zeoliter från recenta vulkaniska avlagringar formas genom litifiering (förstening) av de vulkaniska glasavlagringar som delvis omvandlas från amorf till kristallin form, men bibehåller sina puzzolana egenskaper genom sin mikroporösa struktur. Exempel på sådana material är de vulkaniska bergarterna tuff och ignimbrit.

Lermineral som bentonit och kaolinit är milt reaktiva, men kan göras reaktiva genom kalcinering vid 600–800 °C. Dessa beskrivs mer ingående under aktiverade lermaterial nedan.

Reaktiviteten hos naturliga puzzolaner är främst beroende av mineralogin och de fysiska egenskaperna hos dessa material (Juengar m.fl. 2012, Babaahmadi m.fl. 2019, Mueller m.fl. 2021, Plusquellec m.fl. 2021). Vissa naturliga puzzolaner, som amorf kiseldioxid och omvandlat kaolin, blir mer reaktiva om de finmals och används vid ersättningsnivåer på 10 % eller lägre. Puzzolaner med något högre reaktivitet, som vulkaniskt glas, används vid högre ersättningsnivåer på 20–30 %. Att förutsäga reaktiviteten hos naturliga puzzolaner är mer komplicerat än för industriellt framställda alternativa bindemedel som flygaska eller silikastoft, som är relativt rena och har låg porositet.

Många vulkaniska glasmaterial har en relativ hög vattenhalt, som måste avlägsnas under bearbetningen. De får då en hög vattenabsorption som måste beaktas när de används i betong.

Aktiverade lermaterial

Lera definieras som material med partikelstorlekar mindre än 2 µm och består främst av lermineral men även oxider, hydroxider och karbonater förekommer. Typiska lermineral är kaolinit, montmorillonit (smektiter) och illit. Lermineral innehåller silikatskikt och vanligtvis aluminatskikt som hålls ihop av vätebindning med gemensamma syreatomer. De binder vatten som kan vara fysikaliskt bundet eller bundet i form av hydroxylgrupper, beroende på typ av lermineral. Lermineral är kristallina, även om deras kristallgitter ofta har defekter som härrör från omgivningens påverkan eller de hydrotermiska förhållandena under bildandet.

Vissa lermineral är lämpliga att använda som alternativa bindemedel till betong. Man behöver då göra dessa mer reaktiva genom aktivering, antingen mekaniskt eller genom att hettat upp materialet till mellan 600 och 800 °C (kalcinering). Processen syftar till att frigöra vissa ämnen från lerorna och därmed skapa en potential för lerorna att binda till andra material. Denna ökade bindningsförmåga innebär att leran kan fungera som alternativt bindemedel i betongrecept (Babaahmadi m.fl. 2019, Mueller m.fl. 2021).

Med kalcinerade leror menas vanligtvis brända naturliga blandningar av sand, silt och lera, där innehållet av lera uppgår till minst 40 %. Vid uppvärmningen avlägsnas vattnet och hydroxyljonerna i lermineralernas kristallgitter och gör dem amorfa och reaktiva i alkaliska lösningar. Kaolinitiska och smektitiska leror anses vara mycket reaktiva efter kalcineringen på grund av att dessa leror innehåller en stor del aluminium som är tillgänglig för reaktion. Utöver kaolinit och smektit bedöms även illit lämpligt att kalcinera och använda som alternativt bindemedel (CemNet 2020). Man har i en svensk studie testat kalcinering av lermineralen kaolinit och smektit (Babaahmadi m.fl. 2019), och det pågår även undersökningar med kalcinering av illit (Plusquellec m.fl. 2021). I Danmark tillverkas i dagsläget cement där portlandsklinkern delvis ersätts med kalcinerade

smektitleror. Detta har visat sig ge synergieffekter och cementens egenskaper har förbättrats (Dansk Betonforening 2019). Det finns därför skäl att också i Sverige undersöka förutsättningarna för att utvinna och använda leror och lermineral för att tillverka alternativa bindemedel till cement och betong.

Det finns studier genomförda inom ramen för industriell forskning samt inom nyligen avslutade projektet BETCRETE 2.0 (VINNOVA 2022) på RISE som visar att vissa typer av leror som till exempel illit kan fungera som alternativt bindemedel när den aktiveras mekaniskt genom finmalning. Mer forskning kring detta kommer att genomföras i fortsättningsprojektet BETCRETE 3.0, 2023 till 2025.

Filler av bergmaterial

Filler av bergmaterial är fina partiklar, inerta eller svagt reaktiva som produceras genom malning. Ingen annan bearbetning än malning behövs normalt. Det finns många typer av bergmaterial som kan användas som filler, exempelvis kalksten, dolomit, basalt, eller granit. Det vanligaste filler-materialet är kalksten eftersom den finns i stor mängd och är lättillgänglig i många länder.

På grund av låg reaktivitet hos de flesta kristallina bergmaterial, även efter malning, kan det dock inte bli fråga om att ersätta någon betydande andel av portlandcementen i betong.

Material bildat vid meteoritnedslag (suevit)

Suevitisk nedslagsbreccia (förenklat uttryckt ”suevit”) är en bergart som kan bildas vid de extremt höga tryck och temperaturer som förekommer vid stora kosmiska nedslag, exempelvis då en asteroid eller komet kolliderar med jorden (French 1998). Suevit består av en blandning av uppsmälta (glasiga) fragment och bergartsfragment som sitter i en finkornig matrix. Bildningen av suevit vid stora nedslag beror bland annat på vilka bergarter som påverkas av nedslaget (Holm-Alwmark 2021).

Glasfasen i suevit reagerar puzzolant. Puzzolaniteten kan ökas genom kalcinering.

Alternativa bindemedel med potential på lång sikt

Askor från förbränning av biomassa

Aska från jordbruksavfall

Aska från förbränning av avfall från jordbruk kan användas som ett kompletterande bindemedel och som komponent i cementbaserade eller alkaliaktiverade bindemedel. Organisk kol omvandlas mestadels termiskt till CO₂ och de återstående resthalterna är rika på kisel (SiO₂). Det är ett förhållandevis billigt material jämfört med andra alternativa bindemedel. Aska från skal av ris har det högsta utbytet och den högsta kiselhalten. Aska från vete, durra och rishalm innehåller också höga kiselhalter (Svensk Byggtjänst 2021).

Aska från trä- och cellulosaprodukter

Aska från trä framställs huvudsakligen av träavfall från massa- och pappersindustrin som har eldats tillsammans med kol. Lövträ producerar vanligtvis mer aska än barrved. Barken och bladen producerar allmänt mer aska än den inre delen av trädet. Lågteknologiska förbränningsprocesser producerar träaska som innehåller stora partiklar av endast delvis förbränt bränsle. Askan har normalt därför ett brett spektrum av partikelstorlekar och partikelformer.

Den huvudsakliga kemiska sammansättningen är normalt cirka 60 % kalciumoxid (CaO) och 20 % kisel (SiO₂) samt mindre mängder kalium, fosfor och magnesium.

Askor från förbränning inom pappersindustrin används i nuläget endast till mark- och vägfillnad. Skogsmaterial som förbränns är relativt heterogent och det innehåller också höga halter av föroreningar, till exempel salter och reaktivt kol.

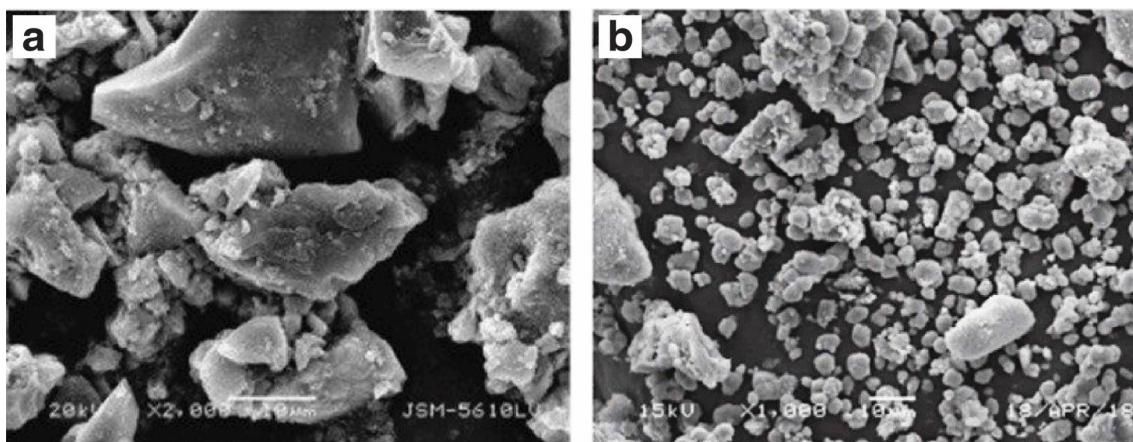
Bottenaska och flygaska från förbränning av avfall

Vid förbränning av kommunalt avfall och verksamhetsavfall återstår efter förbränningen aska. Dels får man bottenaska som ligger kvar i förbränningsugnen, dels får man flygaska som följer med rökgaserna. Sammansättningen av bottenaskan är mycket heterogen och är anrikad med föroreningar i form av bland annat tungmetaller. Allmänt består askan bland annat av fragment av glas, metaller, keramik, sand, rester av polymerer, benfragment och kol med mera.

Man har försökt utnyttja bottenaska under de senaste 20 åren inom byggindustrin, även som alternativt bindemedel. Det har dock varit problem med kvalitetssäkring av den slutliga produkten på grund av stora variationer i kemisk sammansättning och sporadiskt uppträdande av skadliga komponenter. Det har också varit svårt att styra kvaliteten på de konstruktioner i vilka den använts på grund av de variationer i betongens mekaniska egenskaper som uppstått. Bottenaskan har grövre kornstorlek än flygaskan, se figur 2.

Flygaskan från förbränning av kommunalt avfall är oregelbundet formade partiklar som vanligtvis är mindre än 300 µm. Kemiskt består den av kisel, kalcium, aluminium, järn och svavel och har puzzolana egenskaper. Till skillnad från bottenaska betraktas flygaskan som farligt avfall, då den innehåller ett stort antal tungmetaller, lösliga salter, klorerade organiska ämnen och kalk från rökgasreningen. De största hindren mot att använda bottenaska och flygaska från avfallsförbränning är relaterade till inverkan på miljön på grund av risk för utlakning av skadliga ämnen eller beständighetsproblem.

Försök genomförs i dag, bland annat i projektet *Ash2Salt* (Ragn-Sells 2022), med att rena flygaskor genom tvättning från främst salter och tungmetaller som sedan kan återvinnas. Från tvättningen uppkommer bland annat en kiselrik sand som restprodukt och denna bedöms ha potential som ett alternativt bindemedel. Det är dock ännu oklart hur stora volymer av sanden som kan tas fram. Resultat från projektet pekar på att den kiselrika sandens förmåga som bindemedel i betong överstiger det hos vanliga flygaskor. Mer forskning om detta material behövs innan det kan användas som ett alternativ bindemedel.



Figur 2. Mikroskopifoto av a) bottenaska och b) flygaska från förbränning av kommunalt avfall som visar skillnaden i kornstorlek mellan bottenaska och flygaska från avfallsförbränning. Foto: Urs Mueller, Schwenk.

Metallurgisk slagg

Metallurgiska slaggar är restprodukter från smältprocessen i produktion av metaller. De kan delas upp i järnhaltiga och icke-järnhaltiga metaller. De järnhaltiga slaggerna utgörs av masugnsslagg, som beskrivs separat i avsnittet *Standardiserade alternativa bindemedel – tillsatsmaterial typ II och huvudbeståndsdel i cement*, och stålslagg.

Stålslagg är en restprodukt av ståltillverkningsprocessen. Slaggen bildas under raffineringsprocessen vid omvandling av tackjärn till stål genom att blåsa luft eller syre till smältan och genom att kombinera flödena med icke-järnhaltiga oxider.

Forskning pågår i bland annat Tyskland för att använda den slagg som genereras från de ljusbågsugnar som ersätter befintliga masugnar. Det finns dock hinder med att ta vara på denna slagg eftersom koncentrationerna av fri bränd kalk (CaO) och andra oxider som magnesiumoxid (MgO) som förekommer i slagg från ljusbågsugnar behöver regleras.

Slagg från icke järnhaltiga metaller är icke-jäsbar slagg som produceras tillsammans med metaller som koppar, nickel, bly och zink genom att smälta motsvarande malmer. I allmänhet har dessa slaggar stora mängder amorfa faser och kan kemiskt bestå av de viktigaste oxiderna av silika, järn och ibland kalcium. Lämplighet som alternativa bindemedel behöver undersökas närmare.

Gruvavfall

Med gruvavfall menas här restprodukter (anrikningssand) från malmutvinning, så kallade *tailings*, från gruvdrift efter avskiljningsprocessen.

Avfallet består av berggrund, vatten och bearbetningskemikalier. Materialet pumpas vanligtvis genom rörledningar till ett lagringsutrymme där det torkas och samlas. Vissa avfallsrester kan innehålla giftiga kemikalier och måste hållas avskilda. Gruvavfall kan ha en grov och oregelbunden yta med varierande densitet beroende på mineralfaserna i avfallet. Den kemiska sammansättningen av gruvavfallet beror i hög grad på berggrundens sammansättning och produktionsprocessen. Den primära kemiska sammansättningen hos gruvavfall är SiO_2 , Al_2O_3 , CaO och Fe_2O_3 .

Finmaterial från karbonatiserad återvunnen betong

Återvunnen betong kommer från bygg- och rivningsavfall. I regel har krossad och mald återvunnen betong inte tillräckligt med latent hydraulisk eller puzzolan reaktivitet vilket är ett viktigt krav för att materialet ska kunna användas som alternativt bindemedel i betong. Genom karbonatisering av den återvunna betongen kan reaktiviteten förbättras. Karbonatisering förekommer naturligt, men det är en mycket långsam process och sker i ytskiktet. Accelererad karbonatisering genom höga koncentrationer av koldioxid från avskild koldioxid från exempelvis cementproduktion ger en snabb karbonatisering av cementpastan i den krossade betongen. Det finns i dag ingen kommersiell produktion av finmaterial från karbonatiserad återvunnen betong.

ANVÄNDNING AV ALTERNATIVA BINDEMEDEL I BETONG

I Sverige

Sedan 1990-talet har man i Sverige varit betydligt mer restriktiva än i många andra länder när det gäller användning av andra bindemedel än portlandcement i betong. I slutet på 1980-talet tog produktionen av den så kallade massivcementen med 65 % slagg från SSAB i Oxelösund slut (Strippel m.fl. 2005). Masugnsslagg är det enda av de reaktiva alternativa bindemedlen som det funnits produktion av i Sverige. Historiskt fanns det en cement på den svenska marknaden (den så kallade Limhamns cementen) med mycket låg alkalihalt, vilket gav en bra beständighet. När denna slutade produceras tog tillverkaren fram en annan anläggningscement med låg alkalihalt, sulfatresistens och låg värmeutveckling som också visade sig ge bättre beständighet än en vanlig standardcement. Det har alltså saknats starka incitament i form av beständighetsproblem för att introducera alternativa bindemedel på marknaden, i synnerhet sådana som inte finns i Sverige. Incitamentet för att ersätta delar av portlandcementen har vuxit fram på senare år i och med att kraven på hållbarhet och miljövänlighet har ökat.

Standarder och andra typer av produktspecifikationer för cement och alternativa bindemedel anger krav på produkten för att den ska vara allmänt lämplig för användning i betong, se bilaga 2 och 3. Vilka material och hur mycket av det som får användas i en betongkonstruktion i en viss miljö regleras inte i bindemedelsstandarderna utan i produktstandarder för betongstandarder.

I Sverige används den europeiska betongstandarden SS-EN 206 som bas för kraven på betong och dess delmaterial. Den är inte harmoniserad, utan betongtillverkning kontrolleras (certifieras) enligt nationella regler. I SS-EN 206 finns ett antal ställen där man kan göra nationella val. I standarden markeras dessa ställen med den engelska formuleringen ”*provisions valid in the place of use*”. Ett sådant viktigt område där man nationellt får bestämma vad som ska gälla är sammanställningen på betong i olika miljöer. SS-EN 206 anger ett klassystem för exponeringsklasser som tar hänsyn till de viktigaste mekanismerna som orsakar att betong bryts ner och får kort livslängd, korrosion på grund av karbonatisering av betong eller kloridinträngning, frostangrepp och kemiskt angrepp. Vilka krav en betong ska uppfylla i olika exponeringsklasser anges i Sverige i SS 137003. Denna standard uppdateras med jämna mellanrum och den senaste versionen gavs ut i december 2021.

Även om det bildas snarlika reaktionsprodukter när alternativa bindemedel används påverkar dessa betongens egenskaper och beständighet. När det gäller GGBS, flygaska och silikastoft är inverkan på egenskaperna väl kända och användningsreglerna i SS 137003 är anpassade efter den inverkan de har på betongens beständighet.

GGBS ger en något lägre hållfasthetstillväxt under den allra första tiden efter gjutning. Om ersättningsnivån inte är alltför hög fås ungefär samma hållfasthet vid 28 dygn som med enbart portlandcement, och på lång sikt fås en högre hållfasthet. Värmeutvecklingen i tidigt skede är lägre än för portlandcement, vilket är positivt för att undvika sprickbildning i konstruktionen. GGBS ger en tätare betong vilket är positivt med hänsyn till kloridinträngning som kan orsaka korrosion av armeringen och med hänsyn till vatteninträngning. Den kemiska beständigheten hos betong ökar vid tillsats av GGBS. Cement med hög andel GGBS (mer än cirka 65 %) anses vara naturligt sulfatbeständiga. GGBS minskar också risken för skadliga alkalisilikareaktioner (ASR) mellan ballast och cement. En nackdel med GGBS är att den gör att betongen karbonatiserar snabbare än med bara portlandcement, vilket ökar risken för korrosion av armeringen. En annan nackdel är att speciellt salt-frostbeständigheten blir sämre med GGBS, i synnerhet vid höga ersättningsnivåer (Turner & Collins 2013).

Flygaska från kolkraft påverkar hållfasthetstillväxten ännu mer än vad GGBS gör, och under längre tidsperiod (mer än 28 dygn). Detta gör en betongkonstruktion mer känslig för omgivningens

påverkan i början och kräver bättre skydd mot uttorkning och frysning under den första tiden efter gjutning. På lång sikt (mer än 90 dygn) fås högre hållfasthet. På lång sikt blir betongen tätare och risken för korrosion på grund av kloridinträngning minskar. Flygaska ger också en viss höjning av motståndet mot kemiskt angrepp och minskar risken för alkalisilikareaktivitet (ASR). Frostbeständigheten blir dock sämre med flygaska, i synnerhet i tidig ålder, och en flygaskebetong karbonatiserar även den mer än en portlandcementbetong vilket kan öka risken för karbonatiserings-initierad korrosion av armeringen (Turner & Collins 2013).

Silikastoft används i små mängder, upp till 10 % av bindemedelshalten, och ger på grund av sin extremt fina kornstorlek en högre hållfasthetstillväxt i tidig ålder (upp till 7 dygn). Hållfastheten på sikt är högre än eller jämförbar med vad som fås utan silikastoft. Den ger även en tätare betong och bättre beständighet mot inträngning av vatten, klorider och kemiskt betongaggressiva ämnen. När det gäller salt-frostbeständighet har det uppmätts låg avskalning hos betong med silikastoft vid ett måttligt antal fryscyklar, men sedan ett plötsligt uppträdande av hög avflagning efter ett större antal fryscyklar.

Hur stor andel av bindemedlet som måste vara portlandcementklinker och hur mycket av GGBS, flygaska eller silikastoft som får ingå i betongen, antingen i en blandcement eller som tillsatsmaterial typ II, i olika miljöer enligt den senaste versionen av SS 137003 från 2021 kan sammanfattas enligt tabell 3 nedan.

Vad gäller fabriksstillverkade cement som innehåller kalksten av typ LL så får CEM II/A-LL som innehåller högst 20 % LL användas i samtliga miljöer.

Övriga CEM II/A och CEM II/B (se tabell 1) som innehåller huvudbeståndsdelar man inte har någon större erfarenhet av att använda i Sverige, alltså de som innehåller högst 35 % puzzolaner (P eller Q), bränd skiffer (T), kalkrik flygaska (W) eller kalksten typ L, får enligt SS 137003 användas om man genom kvalifikationsprovning genomförd av ett ackrediterat laboratorium

Tabell 3. Sammanfattning av andelen GGBS, flygaska eller silikastoft som får ingå i betong enligt SS 137003.

I fuktiga betongkonstruktioner utomhus utsatta för frostangrepp:
≤ 35 % GGBS (i tidigare utgåva var värdet ≤ 20 %)
≤ 35 % flygaska (i tidigare utgåva var värdet ≤ 20 %)
≤ 5 % silikastoft (≤ 10 % efter särskild verifiering av frostbeständigheten)
≥ 65 % portlandcementklinker (i tidigare utgåva var värdet ≥ 80 %)
I måttligt fuktiga betongkonstruktioner utomhus utsatta för frostangrepp i närvaro av salt:
≤ 35 % GGBS
≤ 35 % flygaska
≤ 10 % silikastoft
≥ 65 % portlandcementklinker
Betong inomhus med mycket låg luftfuktighet eller i oarmerad betong inte utsatt för frostangrepp eller kemiskt angrepp:
≤ 70 % GGBS (≤ 95 % om GGBS enbart ingår i ett fabriksstillverkat cement)
≤ 35 % flygaska
≤ 10 % silikastoft
≥ 30 % portlandcementklinker (≥ 5 % om GGBS enbart ingår i ett fabriksstillverkat cement)
I alla övriga icke-frostutsatta miljöer samt vid måttligt fuktiga betongkonstruktioner utomhus utsatta för frostangrepp utan närvaro av salt:
≤ 65 % GGBS (i vissa exponeringar av dessa gällde ≤ 35 % i tidigare utgåva)
≤ 35 % flygaska
≤ 10 % silikastoft
≥ 35 % portlandcementklinker (i vissa exponeringar av dessa gällde ≥ 65 % i tidigare utgåva)

påvisat att de är lämpliga för den avsedda miljön. Vilka provningsmetoder som ska användas i kvalifikationsprovningen styrs av för vilken miljö (exponeringsklass) cementen ska kvalificeras. I vissa fall görs det som en jämförande provning mot en cement som är godkänd för den aktuella miljön, och i vissa fall mot angivna kravvärden (frostbeständighet). Kvalifikationsprovning utförs som en engångsprovning, och gäller så länge den specifika cementen inte har ändrats.

Systemet med att använda k -värden (< 1) för GGBS och flygaska som tillsätts i betongblandaren leder till att det kommer att krävas högre bindemedelshalt i en betong med dessa material som tillsatser, än om de hade ingått i en blandcement. Enligt SS 137003 finns det två möjligheter att förbättra förutsättningarna för dessa material. Det kan antingen åstadkommas genom att få rätt att använda förhöjda k -värden eller genom att använda sig av konceptet likvärdig prestanda hos bindemedelskombinationer (EPCC). Vid EPCC ska en bindemedelskombination uppfylla de hållfasthetskrav som gäller för en fabrikstillverkad cement med samma kombination. Kombinationen kan då likställas med denna cement, vilket gör att k -värdet blir 1, alltså detsamma som för portlandcement. Båda dessa möjligheter gäller för kombinationer av en specifikt CE-märkt cement och ett specifikt CE-märkt tillsatsmaterial, och båda kräver initiala och fortlöpande provningar under tredjepartskontroll.

Krav enligt SS 137003 har tillämpats rakt av inom husbyggande i Sverige. När det gäller anläggningskonstruktioner, vilka normalt har en avsedd livslängd på 100 år (120 år för broar) har mer restriktiva regler när det gäller användning av alternativa bindemedel tillämpats. Dessa har formulerats i AMA Anläggning (Allmän Material- och Arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten) som utges av Svensk Byggtjänst och som anläggningsägare hänvisar till när de upphandlar anläggningsbyggnationer. I den version av AMA Anläggning som just nu (hösten 2022) används, är halten GGBS och flygaska begränsad till 20 %. AMA Anläggning håller på att revideras och i den kommande upplagan blir det ingen skillnad mellan AMA Anläggning och SS 137003.

Ett problem är dock att för ett visst projekt är det den version av AMA Anläggning som gällde när upphandlingen gjordes som gäller. För pågående och redan upphandlade anläggningsprojekt gäller formellt fortfarande versioner av AMA Anläggning som är betydligt mer restriktiva när det gäller alternativa bindemedel än vad som gäller enligt SS 137003. För att få till en ändring i redan upphandlade projekt måste avsteg från kraven vid upphandlingen godkännas av beställaren i varje enskilt fall.

I omvärlden

Traditionellt har man varit mer tillåtande när det gäller användning av alternativa bindemedel i många andra länder än vad som har varit brukligt i Sverige. Det finns en lång tradition av att använda sig av lokala material som vulkanisk aska runt Medelhavet där vulkanisk aktivitet har skapat avlagringar av pyroklastiskt material. I Italien används cirka 3 miljoner ton zeolitisk tuff årligen i blandade portlandcement-baserade cement.

Det finns standarder som tillåter användning av framför allt puzzolana material i ett fåtal länder. Hur tillämpningen av dessa är utbredd är svår att uppskatta. Dessa standarder är relativt nya (ASTM från 2019 och framåt) eller är under framtagning och därför är det sannolikt att produktionen av de nya bindemedlen är väldigt begränsad och fokuserad på specifika eller testapplikationer. Ett exempel är från Aalborg Portland i Danmark som producerar den så kallade *Futurecem*, vilket är cement med kalcinerad lera.

Trass (vulkanisk aska) tillåts i Tyskland enligt DIN 51043 sedan 1978 för tillämpning i bruk och puts. Användning som bindemedel i betong är inte kartlagd.

Hydrolith tillåts i Schweiz och är en tempererad phonolith, en naturlig puzzolan av vulkaniskt ursprung, som är godkänd genom ETA-05/0213. Hur stor användning av det materialet som är i betong saknas den relevant information för.

Återvunnen betong och möjligheter till återvinning av cement har diskuterats i olika forskarforum och detta ledde till att den europeiska standardiseringen CEN/TC 51 hade beslutat att godta Frankrikes begäran om en icke-harmoniserad produktstandard för användning av den fina fraktionen av återvunnen betong som cementbeståndsdelar. Den potentiella nya standarden kommer att hamna i EN 197-6.

Lera har också använts genom historien i form av stampad jord eller lera (utan någon kemisk reaktion) och för produktion av tegel. Det schweiziska LC3-projektet (*Limestone Calcinated Clay Cement*) utvecklade en cement med 30 % kalcinerad lera som har testats i flera projekt på Kuba och i Indien, men användningen av den cementen i Europa är begränsad på grund av det rådande regelverket.

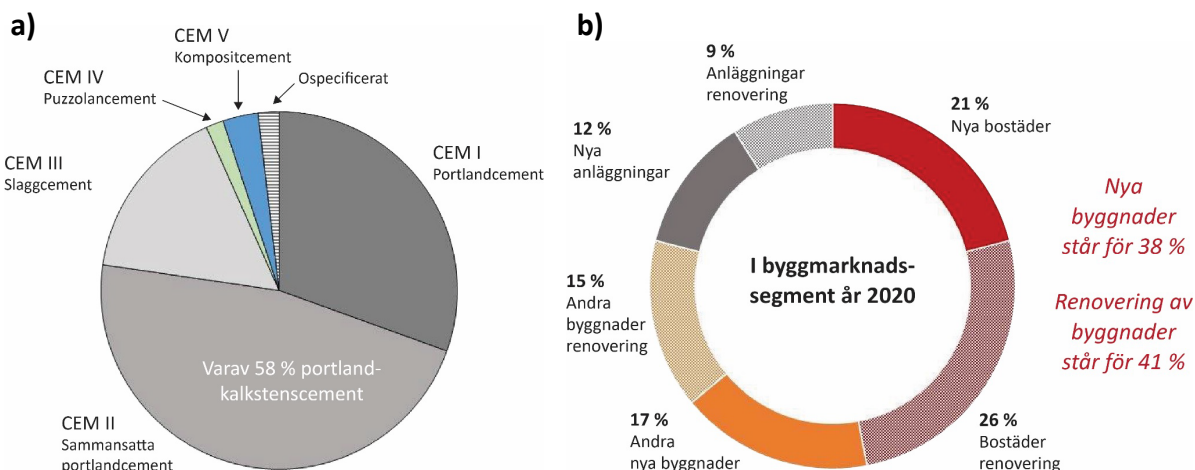
BEHOV AV ALTERNATIVA BINDEMEDEL

Behov av alternativa bindemedel i Sverige

Den globala produktionen av cement (inklusive blandcement) 2019 var 4,1 miljarder ton, med över 50 % produktionen i Kina. I Europa tillverkades samma år 182 miljoner ton cement. I figur 3 visas uppdelningen på olika cementtyper som såldes i Europa år 2015 enligt den europeiska cementorganisationen Cembureau och fördelningen på olika marknadssegment i Europa 2019 (Plusquellec m.fl. 2021).

I Sverige produceras cirka 2,8 miljoner ton cement årligen (Cementa 2023) och det importeras även cement, företrädesvis från den europeiska marknaden. Det förbrukas cirka 3,4 miljoner ton cement till betong per år (inklusive blandcement och alternativa bindemedel) i Sverige. Hur mycket av detta som i nuläget utgörs av ren portlandcement och hur mycket som utgörs av alternativa bindemedel kan enbart uppskattas. Den mest storsäljande fabrikstillverkade cementen på den svenska marknaden är CEM II/A med ett innehåll av alternativa bindemedel (kalksten typ LL eller flygaska) på cirka 16 %. Inom anläggningsbyggnation används fortfarande till största delen rent portlandcement, medan högre halter av alternativa bindemedel förekommer främst inom husbyggande. Användningen av CEM III och CEM V är betydligt lägre i Sverige än i övriga Europa, och användning av puzzolancement CEM IV förekommer i princip inte alls i Sverige. Uppskattningsvis utgör alternativa bindemedel enbart cirka 10 % av den totala bindemedelsmängden som används i dag i Sverige.

Enligt den senaste versionen av SS 137003 får bindemedel med ett innehåll av portlandcement på minst 65 % användas i all betong i Sverige, även i de mest krävande exponeringsklasserna. På grund av att det tillsätts vissa andra mindre beståndsdelar i cement, utöver portlandcementklinker och alternativa bindemedel, motsvarar detta ett innehåll av alternativa bindemedel på i medeltal 32 %. Om man i praktiken skulle leva upp till denna nivå för all betong, behövs cirka 1,1 miljoner ton alternativa bindemedel per år för den svenska betongproduktionen. I icke-frostutsatta miljöer eller med mycket mild frostexponering (XF1) måste innehållet av portlandcementklinker vara 35 %, vilket ger ett möjligt innehåll av alternativt bindemedel på cirka 60 %. Om detta gällde all betong skulle behovet av alternativa bindemedel vara cirka 2 miljoner ton per år. Detta innefattar i stort sett all betong för husbyggande, vilket utgör merparten av den betong som används i byggande i Sverige, liksom i Europa där den står för cirka 80 % (se figur 3).



Figur 3. a) Fördelning på olika cementtyper hos såld cement i Europa 2015 (data från Cembureau) och **b)** användning inom olika marknadssegment i Europa (Helsing m.fl. 2022).

En rimlig genomsnittlig maxnivå på hur mycket alternativa bindemedel som skulle kunna komma på fråga är 50 % av bindemedelshalten. Detta ger ett årsbehov på cirka 1,7 miljoner ton alternativa bindemedel i Sverige. Dessa siffror gäller för sammanlagd mängd av alternativa bindemedel.

För GGBS gäller höga tillåtna halter i betong. Hela årsbehovet skulle kunna utgöras av GGBS, alltså mellan 1,1 och 1,7 miljoner ton, beroende på antagen maximal halt i betongen.

Flygaskehalten i bindemedel är maximerad till 35 %, så utav den sammanlagda tillåtna mängden alternativa bindemedel kan 1,2 miljoner ton utgöras av flygaska.

När det gäller silikastoft är maxhalten i betong i Sverige 10 %, vilket om det utnyttjas fullt ut motsvarar ett årsbehov på 0,34 miljoner ton.

Upp till cirka 32 % (1,1 miljoner ton per år) kan också utgöras av övriga alternativa huvudbeståndsdelar i cement enligt cementstandarden SS-EN 197-1, kalksten typ L och kalksten typ LL, kalkrik flygaska (W), naturliga puzzolaner (P), naturliga kalcinerade puzzolaner (Q) eller bränd skiffer (T).

När det gäller potentiella material, som ännu inte är allmänt accepterade som alternativa bindemedel, och vars påverkan på betongens egenskaper och beständighet inte är till fullo kartlagd måste man räkna med ett stegvist införande. Det första steget bör vara att kunna använda dessa i ett CEM II/A, vilket motsvarar cirka 16 % av bindemedelshalten, vilket i sin tur motsvarar en årsförbrukning på 0,54 miljoner ton om den utnyttjas helt. En sådan ersättningsnivå har för de standardiserade alternativa bindemedlen vanligtvis inte medfört radikala ändringar av betongens beständighet. Varefter erfarenheter och kunskaper om materialen byggs upp kan ersättningsnivåerna gradvis ökas. Var gränsen går beror för respektive material på deras reaktionssätt (puzzolant eller latent hydrauliskt), deras reaktivitet och deras inverkan på betongens egenskaper och beständighet.

TILLGÅNG PÅ ALTERNATIVA BINDEMEDEL

En viktig fråga för Sveriges framtida försörjning av alternativa bindemedel är att känna till den inhemska tillgången och vad som kan importeras av det som inte finns i tillräckliga volymer, från vilka länder och industrier samt i vilka mängder.

Sverige har i dagsläget inte tillräckliga volymer och flöden från inrikes källor för att kunna tillgodose behoven av godkända alternativa bindemedel till betong. I framtiden bedöms även

befintliga tillgångar på masugnsslagg och flygaska att minska till följd av ändrade produktionsprocesser.

Nuvarande importvolymen till Sverige har undersökts genom Tullverket och Statistiska centralbyrån (SCB), men produktkoderna är inte tillräckligt specifika för att kunna avgöra status på individuella bindemedel.

Standardiserade alternativa bindemedel

Granulerad masugnsslagg (GGBS)

Granulerad masugnsslagg är i dag ett viktigt material för betongändamål. Samtidigt är den totala världsproduktionen av masugnsslagg helt beroende på hur stora framtidens produktionsvolymen av stål och järn kommer att bli (IEA 2009), samt i vilken takt gammal masugnsteknik byts ut mot mer energieffektiva elektriska smältningstekniker som ljusbågsugnar. I Sverige görs bedömningen att produktionen av granulerad masugnsslagg kommer avvecklas helt under detta årtionde till följd av teknikskiftet till ljusbågsugn, vilket även följer den internationella trenden.

I Sverige produceras masugnsslagg endast på SSAB:s smältverk i Oxelösund. Där sker ett samarbete med SweCem för att ta vara på materialet och använda det som tillsats i cement. Totalt erhålls cirka 110 000 ton masugnsslagg årligen i Oxelösund. Produktionen kommer gradvis att avvecklas fram till 2030 i linje med en internationell trend av omställning till en mer energieffektiv, elektrisk smältningsteknik.

Den globala tillgången på masugnsslagg är runt 330 miljoner ton årligen, i Europa uppskattas tillgången till 25 miljoner ton. Japan är den näst största producenten av masugnsslagg (20 miljoner ton årligen) i Asien och världens största exportör. Kina är den största producenten och användaren av materialet, men de förväntas minska sin egen användning av den råvaran i takt med att deras egen ståltillverkning minskar (CemWeek 2021a). Tyskland är ett av de större producentländerna och exportörerna av masugnsslagg i Europa. Många länder, inklusive Japan, uppskattar att man i framtiden kommer att minska sin produktion och sin export av masugnsslagg i takt med att den nationella ståltillverkningen samtidigt avtar (CemWeek 2021b). Länder med stor produktion i Europa är Nederländerna, Spanien och Frankrike, i övriga världen Sydkorea, Indien, Brasilien, Sydafrika, USA, Kanada och Australien.

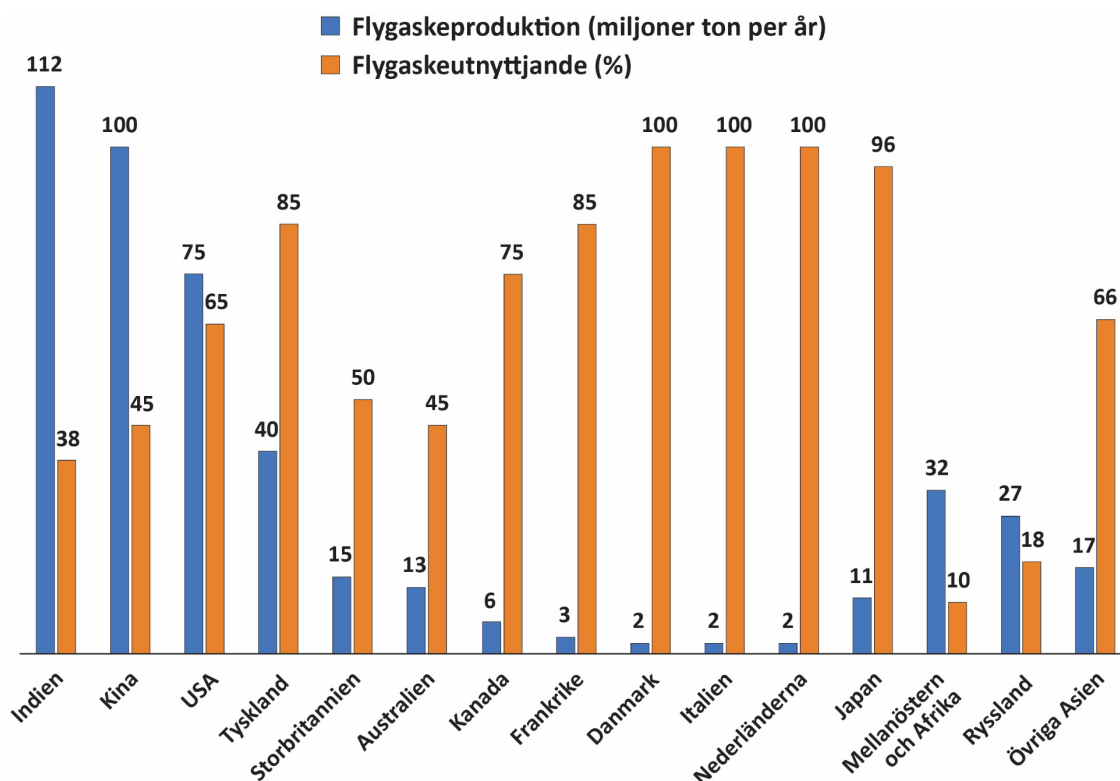
Masugnsslagg används även som ballast i betong och som fyllnadsmaterial i vägkonstruktioner.

Flygaska från kolkraftverk (kiselrik och kalkrik)

Den flygaska som används i Sverige i dag importeras från andra europeiska länder, huvudsakligen från Tyskland. Den årliga importen av flygaska till Sverige för cement- och betongproduktion uppskattas till cirka 200 000 ton.

Tillgången på flygaska i världen är runt 1 000 miljoner ton per år, men bara ungefär en tredjedel används i dagsläget i cement och betong. Tyskland är den största producenten av flygaska i Europa, följt av Polen. Av de tio största kolproducenterna i världen hamnar dock Tyskland och Polen på nionde respektive tionde plats (Bp Statistical Review of World Energy July 2021). Det finns cirka tusen leverantörer av flygaska globalt. Merparten av dessa leverantörer finns i Asien, där Indien är det enskilt största exportlandet. De tre största exportörerna av flygaska i världen är samtliga indiska företag.

År 2006 uppskattades det att den årliga världsproduktionen av flygaska låg på cirka 500 miljoner ton (IEA 2009). I takt med att antalet koleldade kraftverk under de senaste 20 åren har minskat i de flesta länder bedöms den årliga produktionen av flygaskor i världen dock vara lägre i dag och kommer sannolikt att fortsätta att minska i framtiden.



Figur 4. Produktion och utnyttjandegrad av flygaska från kolkraftverk i världen (modifierad från Gollakota 2019).

Utnyttjandegraden av den producerade flygaskan är högst i Europa. Detta framgår av figur 4 som visar den globala årsproduktionen av flygaska i världen och i vilken grad den utnyttjas.

Det bör noteras att koleldad kraftproduktion håller på att fasas ut i de flesta europeiska länder. Att förlita sig på användning av flygaska kan därför bli problematisk i framtiden.

Flygaska används också inom andra områden än för betong, exempelvis inom gruvindustrin, för geotekniska tillämpningar och för stabilisering av avfall.

Silikastoft

Det finns ingen inhemsk produktion av silikastoft i Sverige utan den silikastoft som används i betong i Sverige importeras främst från Norge.

Den globala produktionen av silikastoft uppgick 2019 till 1 miljon ton (Nagi m.fl. 2019). Silikastoft exporteras från främst Kina, USA, Tyskland, Japan och Indien. Höga priser, uppskattningsvis cirka 3 till 5 gånger högre än för vanlig cement, och låga produktionsvolymerna begränsar användningen av silikastoft internationellt och i Sverige.

Ungefär 35–40 % av den globala tillgången på silikastoft används inom byggsektorn, resterande används inom bland annat den marina sektorn och olje- och gasproduktion.

Kalksten

Kalksten förekommer i stora mängder över hela världen. Det är för tillfället den mest använda fillern i Europa och världen. Produktionen av kalksten för cementändamål i Europa uppskattas till mer än 300 miljoner ton årligen baserat på en årlig cementproduktion på 190 miljoner ton (CemNet 2022). I Sverige uppskattas en årlig produktion av kalksten för cementändamål till mellan 6 och 7 miljoner ton. Exempel på andra sektorer som använder kalksten är pappersindustrin, plast- och gummiindustrin samt jordbruket.

Potentiella alternativa bindemedel

Puzzolana askor (vulkaniska askor)

I Sverige finns ingen sentida eller recent vulkanism, och merparten vulkaniska avlagringar i svensk berggrund är äldre än 1,7 miljarder år. De vulkaniska askor som förekommer i Sverige är omvandlade och kompakterade, vilket gör det svårt att förädla för användning som bindemedel. Import är utifrån det nuvarande kunskapsläget det enda alternativet för svensk cement- och betongtillverkning.

Tillgången på puzzolana askor i världen är stor. Vulkaniska askor finns i Europa, främst på Island, i Italien, Turkiet, Grekland, Spanien, och Slovenien. Därutöver finns det vulkaniska askor i till exempel Sydamerika, Afrika, Saudiarabien och Iran.

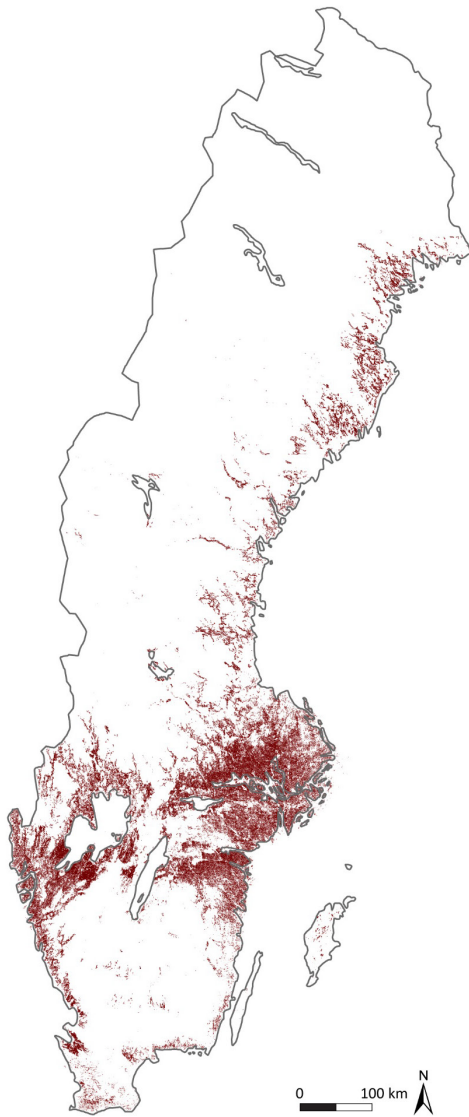
Vulkaniska askor används främst inom cement- och betongindustrin. I Italien används cirka 3 miljoner ton zeolitisk tuff årligen i blandade portlandcement-baserade cement.

På Island används också vulkaniska askor för cementtillverkning, till följd av att man saknar traditionella råvaror. Här har man utvecklat en alternativ bindemedeltillverkning genom att blanda in isländskt grovkrossat vulkaniskt material som bryts i närheten av Reykjavik med ett antal andra råvaror. Det vulkaniska materialet blandas då med silikastoft, importerad granulerad masugnsslagg och traditionell, importerad cementklinker. Cementklinkerhalten i de bästa bindemedelsblandningarna är reducerad till endast 55 % (Gudmundsson 2019). På Island har man i en täkt där man bryter berg för användning som ballast registrerat att vulkanisk aska uppgår till cirka 60 % av materialvolymen, medan det basaltiska materialet som blir ballast bara utgör cirka 12 %. Detta kan indikera goda möjligheter att skala upp existerande verksamheter om företag kan bryta både ballast och bindemedel. Vulkaniska askor från Island bedöms ha stor potential för Sverige, med tillräcklig tillgänglighet, stora volymer och goda transportmöjligheter via marina handelsvägar.

Aktiverade lermineral

I Sverige förekommer en mycket begränsad produktion från lerfyndigheter. Både yngre leror som finns i det lösa jordtäcket eller äldre leror som kan brytas ur berggrunden har pekats ut som ett potentiellt alternativt bindemedel till svensk betong. Gällande relevanta lerfyndigheter i Sverige saknas dock kunskap om detaljerade geologiska förhållanden på tänkbara platser, mängden partiklar som är mindre än 2 mikrometer, vilka volymer som finns att tillgå, de lokala transportmöjligheterna och vilka effekter utvinning av leror lokalt har på miljö, klimat och infrastruktur (Mueller m.fl. 2021). Många av de svenska lereförekomsterna finns även nära eller inom skyddade naturområden, infrastrukturleder eller bostadsområden vilket minskar tillgängligheten till dessa. Cirka 5 % av Sveriges landyta täcks av leror, med tunnare skikt i östra Sverige där ett jorddjup på mindre än 20 m är vanligt medan det i västra Sverige kan vara 100 m djupt (Babaahmadi m.fl. 2019). Figur 5 redovisar förekomster av lerjordarter i Sverige.

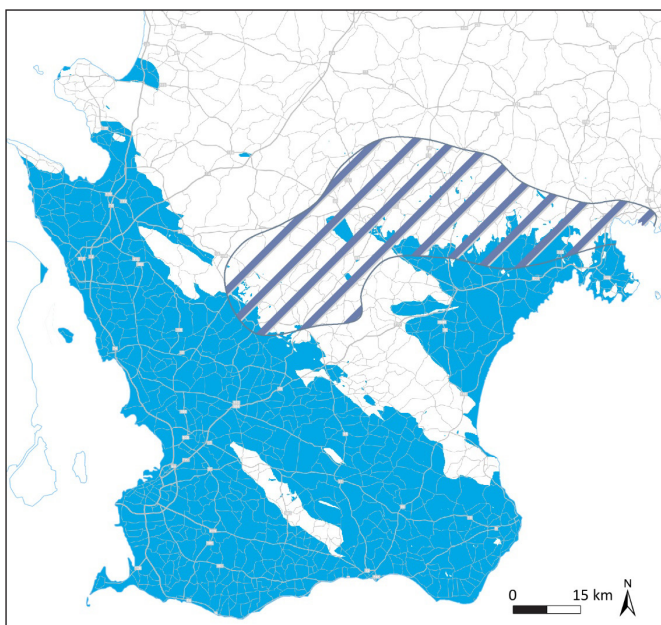
Förekomst och utbredning av sedimentära bergarter i Sverige redovisas i figur 6. Det är dock inte alla dessa områden som innehåller lerig berggrund. Tidigare undersökningar pekar på specifikt Skåne som en region där det finns bergarter med hög lerhalt (Babaahmadi m.fl. 2019). Lerhaltiga bergarter som förekommer i skikt tjockare än en meter, har tunna överliggande jordlager och har åtminstone 20 % lerinnehåll med hög halt av lermineralen illit och smektit och finns omkring Höganäs, Kågeröd och Vallåkra i västra Skåne och Vitabäck/Fyledalen i södra delen av Skåne. Kaolinlera är en typ av lera och förekommer främst i nordöstra Skåne (fig. 7) runt Billinge och Ivö klack (Erlström & Pusch 1987).



Figur 5. Jordarter i storlekskategorin lera till silt i hela Sverige (SGU 2020a).



Figur 6. Sedimentär berggrund i Sverige (SGU 2018a).



Figur 7. Sedimentär berggrund (blått) i Skåne och områden där kaolinlera (streckat) förekommer (SGU 2018b, 2020b).

I Sveriges närområde finns det förekomster av lera i bland annat Danmark, Tyskland och de baltiska länderna (ESDAC 2005). I Danmark har man redan börjat ersätta kalkstensbaserad klinker med en andel smektitlera (FutureCem 2022). Kaolinlera lämplig för kalcinering förekommer i stora mängder över hela världen. I Europa produceras cirka 18,5 miljoner ton kaolinlera årligen, främst i Tyskland och Tjeckien. Kaolinlera har många användningsområden förutom användning i cement och betong, vilket utgör en mycket liten del. En stor del av kaolinleran används inom till exempel pappersindustrin, för porslin, kakel och keramik och i färger (Bishnoi 2020).

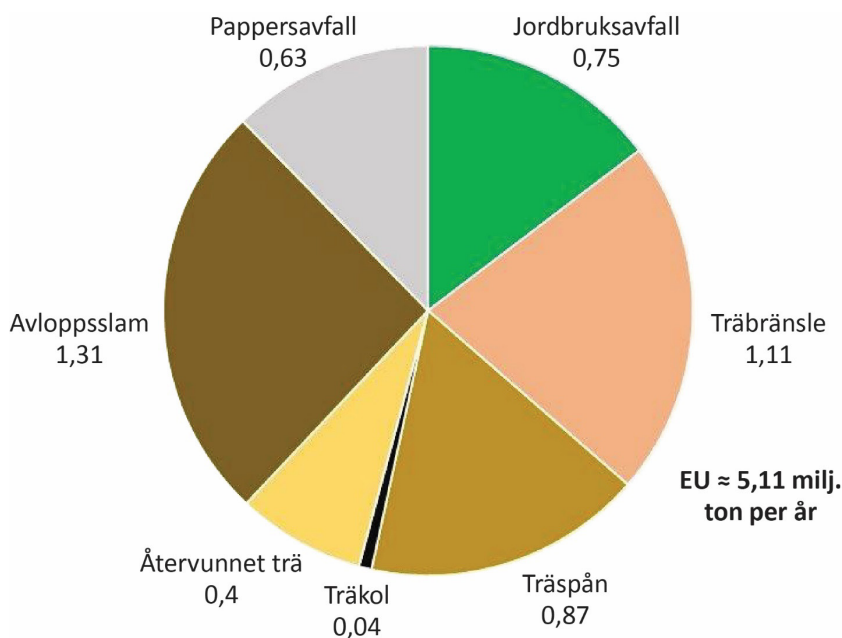
Material från meteoritnedslag (suevit)

I Sverige finns åtta konstaterade nedslagsstrukturer, varav den största är Siljan. Endast mindre förekomster av suevit har konstaterats vid nedslagsstrukturerna Siljan, Mien, Hummeln och Dellen (Holm-Alwmark 2021). Suevit finns också i nedslagsområden i bland annat Norge, Tyskland och Kanada.

Aska från biomassor

Tillgången på flygaskor från skogsbiomassa i Sverige är generellt låg (uppskattningsvist mindre än 100 000 ton årligen). Även jordbruk förbränner biomassor, exempelvis havreskal, och andra restprodukter.

Globalt uppgår askor från biomassa till cirka 100–200 miljoner ton per år men har möjlighet till att öka till cirka 1 000 miljoner ton per år (Zhai m.fl. 2021). I Europa uppskattas produktionen till cirka 5,11 miljoner ton per år och fördelas på olika typer enligt figur 8. Aska från biomassor används i Europa främst i gödningsmedel och i bränslen. I Sverige används sådana askor främst för att täcka avfallsdeponier. På grund av alltför stor variation i kemisk sammansättning har askor från biomassor inte använts i cement och betong.



Figur 8. Uppskattad uppkomst av askor från förbränning av biomassor i Europa (modifierad från Europeiska kommissionen 2020).

Bottenaska och flygaska från förbränning av avfall

I Sverige bildas uppskattningsvis 150 000 ton flygaskor årligen från kommunal avfallsförbränning och den årliga uppkomsten av bottenaskor är cirka 1 miljon ton. Askorna används i dag främst som fyllnadsmaterial under deponitäckning och till vägkonstruktioner.

I Europa bearbetades mellan åren 2001 och 2011 cirka 85 % av askan från avfallsförbränning i 371 avfallsanläggningar (Snellings m.fl. 2012). Utnyttjande och återanvändning ökar medan deponivolymer minskar. I de flesta europeiska länder separeras flygaska och bottenaska och det finns behandlingssystem för att minimera risken för utlakning av skadliga ämnen, till exempel tungmetaller.

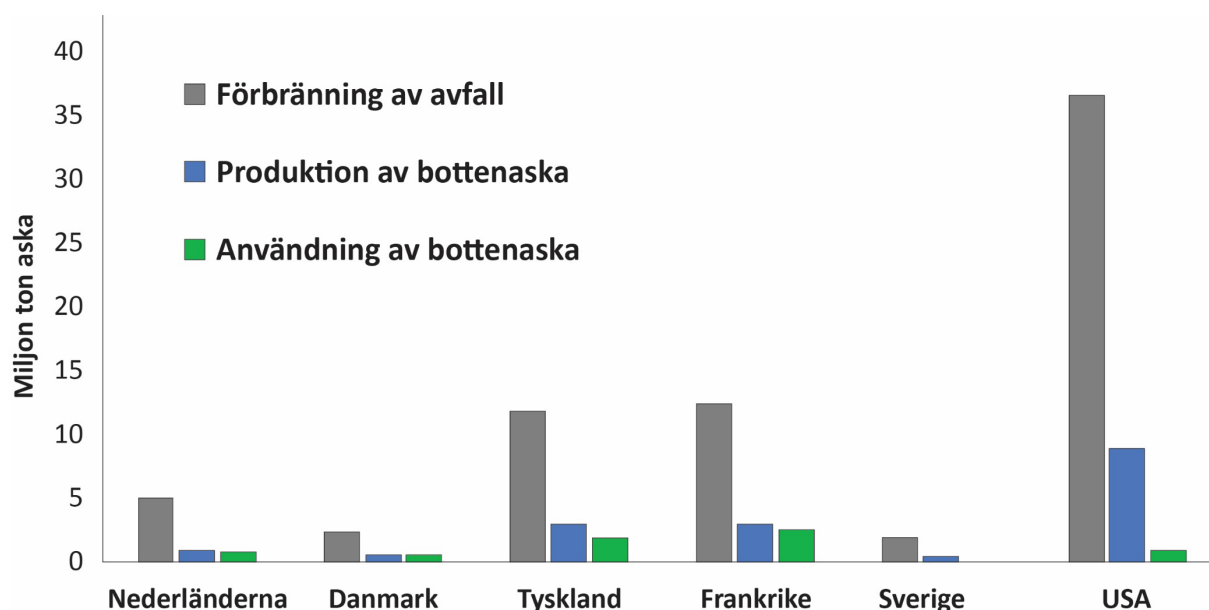
Askor från avfallsförbränning finns tillgänglig i främst Frankrike, Tyskland, Nederländerna, Danmark, Sverige, Italien och USA. I figur 9 visas flera länder som använder bottenaskan som byggmaterial.

Metallurgisk slagg

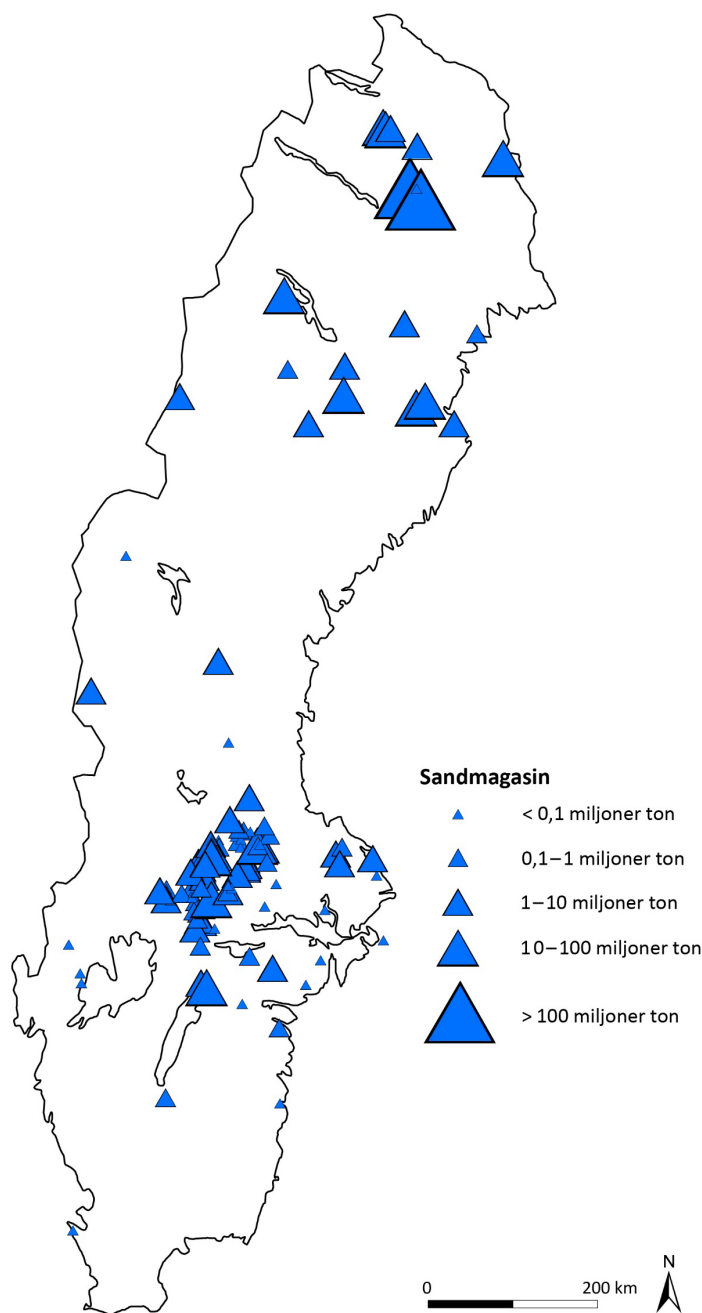
Slagg från ståltillverkning produceras globalt i mängder om cirka 170–350 miljoner ton årligen. I Europa var produktionen cirka 22,6 miljoner ton per år under 2018. Det finns stora möjligheter att öka användandet av metallurgisk slagg som bindemedel. I Europa används i dag enbart 5,5 % för cement och betong, som alternativt bindemedel eller ballast. Den största andelen av stålslagen används inom vägbyggnad och i den metallurgiska industrin.

Produktionen av icke-järnhaltiga metallurgiska slaggar är betydligt lägre än för järnhaltiga slaggar. Bly- och kopparslag produceras i mängder upp till 5,5 respektive 68,7 miljoner ton årligen globalt (Brian 2011). De används främst inom anläggningsbyggnation, vägar, markförstärkning, utfyllnad av markområden, kompaktering av sand och som järnvägsballast. Det uppskattas att den slagg som används för anläggningsbyggnation till 35 % består av icke-järnhaltig slagg, och en stor del av den ersätter naturballast. En av de faktorer som begränsar användning av icke-järnhaltig metallurgisk slagg är risk för utlakning av giftiga ämnen.

Under 2010 producerades det totalt cirka 1–1,5 miljoner ton metallurgisk slagg hos svenska järn- och stålverk (Jernkontoret 2023).



Figur 9. Användning av bottenaska från avfallsförbränning i några europeiska länder och USA (modifierad från Cho m.fl. 2020).



Figur 10. Position och storlek av sandmagasin i Sverige (SGU 2020c).

Gruvavfall

Restmaterial från gruvverksamhet, anrikningssand, så kallade ”*tailings*” förekommer i sandmagasin i anslutning till producerande eller nedlagda gruvor. I Sverige finns sandmagasin främst i Bergslagen, Skelleftefältet och Norrbotten, se figur 10. Vilka koncentrationer av relevanta ämnen som kan utvinnas från ett ton gruvavfall är i dag okänt. Ämneskoncentrationerna varierar också mellan olika magasin beroende av vilken malm man brutit och vilken epok inom gruv- och brytningsteknik som materialet härstammar från.

Finmaterial från återvunnen betong

Förekomst av denna typ av material är kopplad till var det finns återvinningsanläggningar av ren betong. Många återvinningsanläggningar för byggmaterial arbetar inte enbart med betong som råmaterial utan även annat byggavfall och schaktmassor, vilket ger ett finmaterial som inte består av enbart betong.

CO₂-AVTRYCK OCH LIVSCYKELANALYS (LCA) FÖR BINDEMEDEL

En viktig faktor när det gäller miljöpåverkan från bindemedel är deras CO₂-avtryck, det vill säga CO₂-utsläpp vid tillverkningen av dem. Detta är speciellt framträdande för bindemedel som framställs av råmaterial som innehåller kalciumkarbonat, som är den huvudsakliga komponenten i kalkstens- och märelyfyndigheter. När kalciumkarbonat upphettas över 700 °C, avges CO₂. För varje kilo kalciumkarbonat avges 0,44 kg CO₂. Detta basutsläpp fås från alla bindemedel som tillverkas genom bränning av kalksten. Dessutom tillkommer CO₂ från det bränsle som används vid bränningen. Genom effektivisering av förbränningsprocessen och lämpligt val av bränsle kan dessa utsläpp minskas. Publicerade CO₂-utsläpp för samma typ av bindemedel kan därför variera mycket beroende på vilken typ av bränsle som används och den faktiska effektiviteten hos förbränningsprocessen. Portlandcement (CEM I) har ett CO₂-utsläpp på mellan 750 och 940 kg/ton.

CO₂-avtryck är generellt lägre från alternativa bindemedel än från portlandcement, eftersom tillverkningen inte omfattar utdrivning av CO₂ ur råmaterialet. Alternativa bindemedel kan generera CO₂-utsläpp i de behandlingsprocesser, till exempel vid malning, torkning och kalcinering (bränning vid lägre temperaturer), som kräver energi. Material som kräver kalcinering behöver mer energi än de som enbart kräver malning. Tabell 4 sammanfattar CO₂-utsläpp från ett antal alternativa bindemedel. Vissa data i denna tabell är osäkra eftersom det saknas robusta LCA-data för vissa potentiella alternativa bindemedel, och vissa data är uppskattade värden. Utsläppen innefattar enbart utsläppen från tillverkningsprocessen.

Tabell 4. CO₂-utsläpp för vissa alternativa bindemedel, till jämförelse med portlandcement (CEM I) som har ett koldioxidutsläpp på mellan 750 och 940 kg/ton.

Material	CO ₂ -utsläpp (kg CO ₂ /ton av materialet)
GGBS	70–90 ²
Stålslagg	70–90 ¹
Flygaska	20–40 ²
Silikastoft	120–150 ³
Naturliga icke-kalcinerade puzzolaner	30–50
Kalcinerad lera	80–120 ⁴
Kalksten	10–20 ²
Aska från biomassor	40–60 ⁵
Aska från avfallsförbränning	40–60 ⁵
Metallslagger (icke järnhaltiga)	60–90 ¹

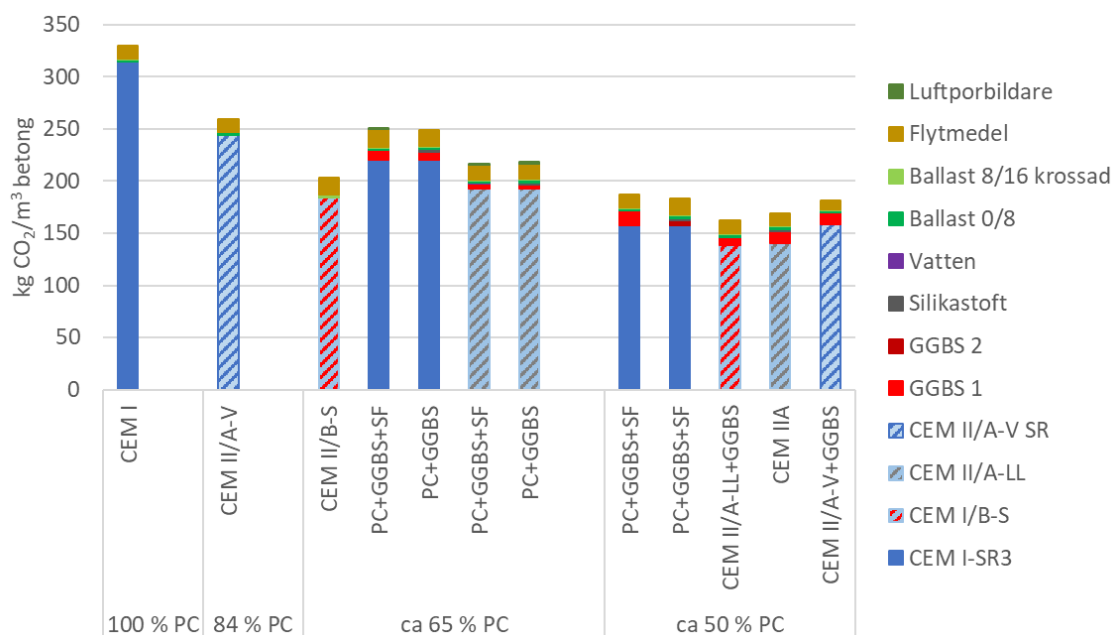
¹ Uppskattning baserad på GGBS

² Från Boverket 2011a

³ Från databasen SimPro

⁴ Från Transportstyrelsen 2018

⁵ Uppskattning baserad på flygaska



Figur 11. CO₂-utsläpp från betong med bindemedelshalten 400 kg/m³ och olika bindemedelssammansättningar (Helsing m.fl. 2022).

CO₂-utsläppet från bindemedel i sig ger dock inte en fullständig bild av den slutliga produktens, betongens, miljöpåverkan. För portlandcementbaserade bindemedel tillkommer även ett mindre bidrag från gjutning och transport. En annan källa till miljöpåverkan är kopplade till brytning och transport av råmaterial till tillverkningsstället. När det gäller portlandcement är råvarufyndigheten och tillverkningsstället vanligtvis belägna nära varandra, vilket minimerar transportbehovet. Brytning av råmaterial kan dock orsaka andra typer av miljöpåverkan, som buller, damm och påverkan på grundvattennivåer och landskapsbilden.

Vid kalkstensbränningen och den efterföljande sintringsprocessen (kemisk process vid höga temperaturer där det bildas klinker) sker en viss mängd utsläpp i form av metaller och gaser från bränslet. Numera måste dock cementfabriker i Europa följa stränga krav på dessa utsläpp, vilket regleras i det europeiska direktivet för industriella utsläpp (IED, 2010/75/EU).

I betong ingår inte bara bindemedel, utan cirka 2/3 av betongen utgörs av ballast (sand, grus och sten). Bindemedelsinnehållet i betong brukar vara mellan 300 och 450 kg/m³. I en högkvalitativ betong med hög hållfasthet och goda beständighetsegenskaper är halten högre än i en betong med låg hållfasthet som inte är utsatt för en aggressiv miljö. Koldioxidutsläpp från betong med bindemedelshalten 400 kg/m³ och betong med olika bindemedelssammansättningar som i dag finns på den svenska marknaden visas i figur 11.

CCS i samband med cementtillverkning

Ett sätt att minska utsläppen från cementtillverkningen är att tillämpa CCS. CCS (*Carbon Capture and Storage*) är ett samlingsnamn för infångning och avskiljning, transport, och lagring av koldioxid. Som tidigare nämnt är cementindustrin en av de aktörer som släpper ut mest koldioxid till atmosfären, och även om cementindustrin redan i dag ersätter en del av cementen med alternativa bindemedel är utsläppen fortfarande stora. Totalt står cementindustrin i dag för minst 8 % av de globala koldioxidutsläppen (Nature 2021). CCS är speciellt relevant för att kraftigt minska processutsläppen från cementtillverkning då det kommer att vara svårt att helt avlägsna dessa utsläpp på annat sätt inom de närmaste decennierna. CCS är också en viktig åtgärd för att ett antal andra industrier ska kunna nå de utsläppsminskningar som behövs för att möta

klimatmålen, globalt och i Sverige. Läs mer om en fördjupad beskrivning av CCS och förutsättningarna för koldioxidlagring i Sverige i Mortensen och Sopher (2021).

I Sverige har Cementa under 2021 genomfört en förstudie för att kartlägga vad som krävs för att tillämpa CCS på cementanläggningen i Slite på Gotland. Erfarenheter har hämtats från bland annat Langskip-projektet (www.regjeringen.no – sök på CO₂-håndtering) i Norge där den norska cementproducenten Norcem förväntas dra i gång storskalig koldioxidinfångning under 2024 för geologisk lagring av koldioxiden i norska Nordsjön. Med CCS kopplat till cementproduktionen i Slite förväntas man kunna fånga in och lagra uppemot 1,8 miljoner ton koldioxid årligen, motsvarande cirka 3 % av Sveriges totala utsläpp. Genom att även öka användningen av biobränslen i delar av tillverkningen av cementen uppnås också så kallade negativa utsläpp (bio-CCS) vilket ytterligare minskar de totala koldioxidutsläppen från cementtillverkningen, samt bidrar till målet om en klimatpositiv cementfabrik (Cementa 2022).

HÅLLBAR MATERIALFÖRSÖRJNING

En hållbar och långsiktig stabil materialförsörjning uppfyller samhällets behov av material utan att äventyra miljö, hälsa och ekonomi eller kommande generationers behov av material. Hållbar materialförsörjning gällande betong innebär dels möjligheter för återanvändning och återvinning av cement och betong, dels försörjning av alternativa bindemedel, samt försörjning av ballast till betong. I detta avsnitt går vi igenom möjligheter och hinder för återanvändning och återvinning av cement och betong igenom samt de juridiska villkor som häftar sig till dessa. Även försörjning gällande ballast till betong diskuteras utifrån ett fokus på behov, användbarhet och tillgänglighet. Försörjningen av alternativa bindemedel har diskuterats tidigare i rapporten, i avsnittet *Tillgång på alternativa bindemedel*.

Möjligheter och hinder för återanvändning och återvinning av cement och betong

Det finns ett ökande behov av betong; enligt nuvarande prognoser ända fram till 2045 i takt med en växande befolkning och mer inflyttning till städer (Fossilfritt Sverige 2018a). I dagsläget återvinns betong primärt genom att armeringsjärn och andra fastgjutna föremål avlägsnas varefter betongen krossas ner för att användas som antingen fyllnadsmaterial eller som ballast till ny betong. Cirka 30 % av all rivningsbetong i Sverige återvinns, resterande material deponeras. Rekommendationen i dag är att primärt återanvända betong, i andra hand återvinna materialet till nya produkter och som tredje alternativ återvinna cement från betong (Naturvårdsverket 2021).

Möjligheter att öka återanvändning och återvinning av betong har bland annat testats med fokus om en nationell kvotplikt för användning av återvunnen råvara kunde vara lämpligt för bland annat betong (Naturvårdsverket 2021). Risker med ett sådant kvotpliktsystem kan dels vara svårigheter att uppfylla kvoten på grund av osäker tillgång på råvaran, dels att försök till att subventionera återanvändning kan leda till att användningen av alternativa bindemedel ses som mindre ekonomiskt attraktivt.

En begränsning som gäller för både återanvändning och återvinning är att det i dag går att göra avdrag från deponiskatten om man använder betongen lokalt på en deponi, exempelvis som fyllnadsmaterial. Detta kan minska incitamenten att återanvända betong till andra syften som till exempel ny ballast i betong. Det kan även finnas utmaningar gällande tillgångar till avfallsströmmar av betong (Naturvårdsverket 2021), och att kostnaden för återanvändning kan bli högre än att använda ny betong.

Återanvändning

Återanvändning (återbruk) innebär att man återanvänder en produkt för samma syfte som den producerades för. Gällande betong innebär detta främst att ta vara på betongkonstruktioner från rivningar och använda dessa till nya konstruktioner, vilket bland annat nämns i Betonginitiativets Färdplan för klimatneutral konkurrenskraft, Betongbranschen (Fossilfritt Sverige 2018b).

Återanvändning av betong i Sverige är ännu inte storskalig men förekommer på projektbasis.

En utmaning gällande återanvändning av betong är att information ofta saknas om egenskaperna hos betongen som ska återanvändas. Detta begränsar användbarheten eftersom olika projekt kräver olika betongspecifikationer. Vissa betongelement har i dag märkning avseende specifikationer, vilket underlättar eventuell senare återanvändning. Märkning av enskilda betongelement har stor betydelse för att kunna gruppera och återanvända de olika betongelementen inom ett bygg- eller demonteringsprojekt. För att lösa detta krävs en bättre kontroll över prefabricerade betongelement i hela leverans- och produktionsflödet. Själva byggnationen kan också utgöra en utmaning för återanvändning, då denna ofta inte görs på ett sätt som förenklar tillvaratagandet och återanvändningen av betongen. Exempel på, för återanvändning, försvårande byggnation är när rör och ledningar dras intill eller genom betongelementen. Det finns även betongelement som inte är konstruerade för att kunna demonteras, utan bara rivas.

För att öka cirkulariteten på betong behövs en god insyn i flöden av avfall från byggnation och rivning. Detta är en utmaning i dag där viktiga materialflöden inte är medtagna i statistiken (Naturvårdsverket 2020), vilket resulterar i stora blindfläckar angående var betongelement tar vägen. En annan utmaning är att flertalet farliga ämnen i betong kan hindra ökad återanvändning då de inte är önskvärda i ett kretslopp av byggnadsmaterial. Exempel på sådana ämnen är giftiga färger, PCB (användes före 1972 till fogmassa), nonylfenoletoxilater, linjära alkylbensensulfonater med mera (Naturvårdsverket 2021).

Återvinning

Återvinning innebär att avfallsmaterial upparbetas till produkter, material eller ämnen, antingen för det ursprungliga ändamålet eller för andra ändamål. Enligt Fossilfritt Sverige kan all betong som rivs teoretiskt sett återvinnas och potentialen finns för att expandera återvinningen jämfört med dagsläget. Ett sätt att uppnå detta är att öka den nuvarande användningen av återvunnen betong som vägfyllnadsmaterial eller att tillsätta krossad återvunnen betong som ballast till ny betong (Fossilfritt Sverige 2018b).

Hanteringen av rivningsbetong är viktig ur ett klimatperspektiv. Studier har visat att betongkonstruktioner tar upp motsvarande 15–20 % av koldioxidutsläppen som de avgett under produktionen, i en process kallat karbonatisering (Selander m.fl. 2022, Löfgren 2021). Detta motsvarar ett upptag på uppemot 300 000 ton koldioxid årligen för Sverige. Som nämnts tidigare släpps cirka 2,5 miljoner ton koldioxid ut årligen i atmosfären från cementindustrin, vilket utgör 5 % av Sveriges växthusgasutsläpp (Naturvårdsverket 2021). Korrekt hantering av rivningsbetong, det vill säga att exponera materialet för luft efter rivning, kan potentiellt fördubbla karbonatiseringen (Fossilfritt Sverige 2018b, Sika 2022). Det finns därför potential att uppnå en positiv klimatomfattig synergieffekt genom effektiv och korrekt utförd återvinningsverksamhet.

Karbonatiserad cement

Cement karbonatiserar (tar upp koldioxid) naturligt i betong över tid (Fossilfritt Sverige 2018b, Selander m.fl. 2022, Löfgren 2021). Pågående forskning och industrisatsningar har lyckats öka karbonatiseringen och återvinna cementen som bindemedel. Detta görs genom mekanisk separering och malning av cementen till en fin kornstorlek, varefter man låter de exponerade ytorna reagera med koldioxid. Det finkorniga cementpulvret uppvisar bindande egenskaper jämförbart med etablerade alternativa bindemedel som granulerad masugnsslagg och flygaska.

Cementpulvret kan därmed användas som extra fyllnadsmaterial i nya cementblandningar där det drygar ut, men inte ersätter, färsk cement från kalkstensbrytning (Sika 2022). Projekten har dock ännu inte applicerats i återvinningsverksamhet eller produktion, och det finns risk att återvinnings energibehov kan överstiga det som krävs för att tillverka en reguljär, icke-återvunnen produkt baserad på kalkstensbrytning.

Ballast, fillers

Betong består av cirka 80 % ballast (Svensk Byggtjänst 2021, Naturvårdsverket 2021). Den färska betongen (våt betong) får enligt nuvarande standarder innehålla upp till 10 % ballastmaterial från återvunnen betong, men den faktiska inblandningen är beroende av den nya betongens användningsområde och vilka krav detta innebär för dess hållfasthet. Den begränsade användningen bör sättas i relation till att det i nuläget byggs med femton gånger mer betong än vad som rivs, det vill säga 15 miljoner ton per år jämfört med 1 miljon ton per år (Pädam m.fl. 2021). Då all betong inte återanvänds kan återanvändning enbart täcka 5–10 % av ballastbehovet för nybyggnation. Forskning visar att det är möjligt att öka inblandningen av återvunnen ballast från betong med hänsyn till ballastens tekniska egenskaper. Högskolan i Borås har genomfört ett forskningsprojekt där de har tagit fram en betong vars tekniska egenskaper liknar de hos konventionella, men där all ballast kommer från återvunnen betong (Sadagopan 2021).

Återvinning genom tillsats inom stålproduktion

Aktuell forskning använder cement som separerats från rivningsbetong som ingrediens till den skyddande slagghinna som behövs inom skrotsmältningsprocessen vid ståltillverkning (Cambridge 2022). Denna cement ersätter kalkstensråvara i processen och tillsammans med den framkomna slaggen kan den användas som ingrediens i ny betong och har tekniska egenskaper liknande de hos portlandcement. Det finns dock en begränsning i verksamhetens potential i och med att stålproduktionen behöver ligga nära etablerade och kontinuerliga transportflöden av rivningsbetong, och även nära verksamheter som kan använda sig av betongmaterialet. Det primära syftet med denna metod är inte heller återvinning av betong utan att säkra en grön ståltillverkning. Mängden av material som kan gutas in i betong är inte heller klarlagt (Cambridge 2022).

Juridiska villkor

Återvinning och återanvändning med stöd av miljöbalken och gemensam EU-lagstiftning

Från avfall till resurs

När Europeiska unionens råd 2018 beslutade om revideringar i avfallslagstiftningen, det så kallade avfallspaketet, var ett av huvudmålen att gå från avfall till resurs (Naturvårdsverket 2022a). Målet är minskade avfallsmängder, ökad återanvändning av produkter, ökad återvinning samt en förbättrad avfallshantering. I Sverige införlivar vi ändringarna bland annat genom miljöbalken, avfallsförordningen (2020:614), deponeringsförordningen (2001:512) och genom Naturvårdsverkets föreskrifter.

Revideringen av EU:s avfallslagstiftning har varit en viktig del i EU:s arbete mot en mer cirkulär ekonomi. I en cirkulär ekonomi behålls resurserna i samhällets kretslopp i stället för att bli avfall. För att detta ska ske behöver mängden avfall minska och återvinning av avfall öka.

Ett reviderat industriutsläppsdirektiv

Den 5 april 2022 presenterade EU-kommissionen ett förslag till reviderat industriutsläppsdirektiv (IED, 2010/75/EU). Revideringen är ett led i att genomföra den Europeiska Gröna Givn (*European Green Deal*) och flera tillhörande strategier såsom EU:s handlingsplan för nollförroreningar, metanstrategin, kemikaliestrategin och handlingsplan för cirkulär ekonomi (Naturvårdsverket 2022b). En del i revideringen är att utöka direktivets tillämpningsområde så att även utvinning och

bearbetning av metalliska malmer och industrimineral ingår. Naturvårdsverket har gjort en analys avseende vilka ekonomiska, sociala och miljömässiga konsekvenser de olika förslagen i det reviderade direktivet får för Sverige ur ett samhällsekonomiskt perspektiv samt tagit fram ett yttrande över EU-kommissionens förslag till ett reviderat industriutsläppsdirektiv. Yttrandet hittas på Naturvårdsverkets webbplats (Naturvårdsverket 2022c).

Produkt, restprodukt, biprodukt eller avfall

Det är viktigt att bestämma om något som framställts i en tillverkningsprocess är en produkt eller restprodukt (Naturvårdsverket 2022d). Produkt är det material som avsiktligt framställs i en tillverkningsprocess, det vill säga när syftet med produktionsprocessen är framställningen av produkten i fråga. I många fall kan man identifiera en eller flera produkter. En restprodukt är material som oavsiktligt produceras eller uppstår till följd av eller i en tillverkningsprocess av en produkt. När man slagit fast att man har en restprodukt, återstår att avgöra om restprodukten är avfall eller biprodukt. Definitionen av avfall samt kriterier för när något är en biprodukt finns i 15 kap. 1 § miljöbalken.

Med *avfall* (15 kap. 1 § miljöbalken) avses varje ämne eller föremål som innehavaren gör sig av med eller avser eller är skyldig att göra sig av med. Ett ämne eller föremål ska anses vara en *biprodukt* i stället för avfall, om ämnet eller föremålet

1. har uppkommit i en produktionsprocess där huvudsyftet inte är producera ämnet eller föremålet,
2. kan användas direkt utan någon annan bearbetning än den bearbetning som är normal i industriell praxis, och
3. kommer att fortsätta användas på ett sätt som är hälso- och miljömässigt godtagbart och som inte strider mot lag eller annan författning.

Kraven som ska uppfyllas för att något ska kunna klassificeras som en biprodukt är så kallat kumulativa, vilket innebär att samtliga måste vara uppfyllda. Om en restprodukt inte uppfyller alla fastställda kriterier ska restprodukten alltid klassas som avfall. I vissa fall är det enkelt att avgöra om en restprodukt är avfall eller biprodukt, men många gånger kan det vara komplicerat. Det är viktigt att komma ihåg att gränsen mellan avfall och biprodukt inte har med materialets sammansättning att göra.

Om restprodukten klassats som en biprodukt, gäller inte avfallsregelverket. Biprodukter faller in under samma regelverk som om det hade gällt nytillverkade produkter och då kan till exempel kemikalielagstiftningen som Reach-förordningen ((EG) 1907/2006, vilken handlar om registrering, utvärdering, tillstånd och begränsningar av kemiska ämnen) och CLP-förordningen ((EG) 1272/2008, förordningen innehåller regler för klassificering, märkning och förpackning av kemiska produkter) vara tillämplig.

En restprodukt kan leva upp till kriterierna för biprodukter under en viss period, men längre fram åter behöva klassas som avfall. Ett exempel på det är då man haft avsättning under en viss tid, men detta sedan förändras. Det är därför inte lämpligt att genom dom eller beslut slutligt avgöra om en restprodukt är en biprodukt.

Miljöbalkens 15 kap. definierar även vad som är *återanvändning*, nämligen att en produkt eller en komponent som inte är avfall används igen för att fylla samma funktion som den ursprungligen var avsedd för. Vidare definieras att *återvinna avfall* som en åtgärd som innebär att avfall kommer till nytta som ersättning för något annat material eller förbereda det för en sådan nytta eller en åtgärd som innebär att avfall förbereds för återanvändning. Att *materialåtervinna avfall* innebär att avfall upparbetas till nya ämnen eller föremål (som inte ska användas som bränsle eller fyllnads-material).

Transporter och gränsöverskridande transporter av avfall

Avfall kan innehålla ämnen som är skadliga för hälsa och miljö (Naturvårdsverket 2022e). Det sker en omfattande handel med avfall. Kontrollen av avsändare, mottagare, transporter, anläggningar, behandling och användning är reglerad och följs upp genom anmälningar, tillstånd och tillsyn av myndigheter (Naturvårdsverket 2021). Gränsöverskridande avfallstransporter inom EU:s medlemsstater regleras genom EG-förordningen 1013/2006 om transport av avfall som baseras på Baselkonventionen och OECD-avtalet om avfallstransporter (Naturvårdsverket 2022e). Export till länder som inte är med i EU, Organisationen för ekonomiskt samarbete och utveckling (OECD) eller Europeiska frihandelssammanslutningen (EFTA) regleras av EG-förordning 1418/2007.

För att klassificera ett avfall bestäms den sexsiffriga kod som bäst beskriver avfallet. Avfallskoderna hittas i bilaga 4 till avfallsförordning (2020:614). Är koden markerad med en asterisk (*) är det farligt avfall. Det är grundläggande att avgöra vilken kod som avfallet klassas under och i vilken bilaga koden finns i. Om en avfallstransport kräver anmälan (notifikation) eller inte beror på vad det är för typ av avfall, var avfallet ska skickas och hur avfallet ska omhändertas. Reglerna för transporter är olika om avfallet ska återvinnas (till exempel materialåtervinnas) respektive bortskaffas (exempelvis deponeras). I avfallstransportförordningens bilagor listas olika typer av avfall under koder benämnda Basel- och OECD-koder samt EWC-koder, så kallade avfallskoder.

Transporter av vissa typer av icke-farligt avfall som ska återvinnas, kallat grönlistat avfall (se bilagorna III, IIIA och IIIB i ovan nämnda avfallsförordning), behöver inte anmälas utan omfattas bara av informationsplikt. Exempel på det är bottenaska och slagg från koleldade kraftverk och flygaska från koleldade kraftverk. Det gäller så länge inte askorna är förorenade av ett annat material i sådan omfattning att det till exempel omöjliggör återvinning av avfallet på ett miljöriktigt sätt.

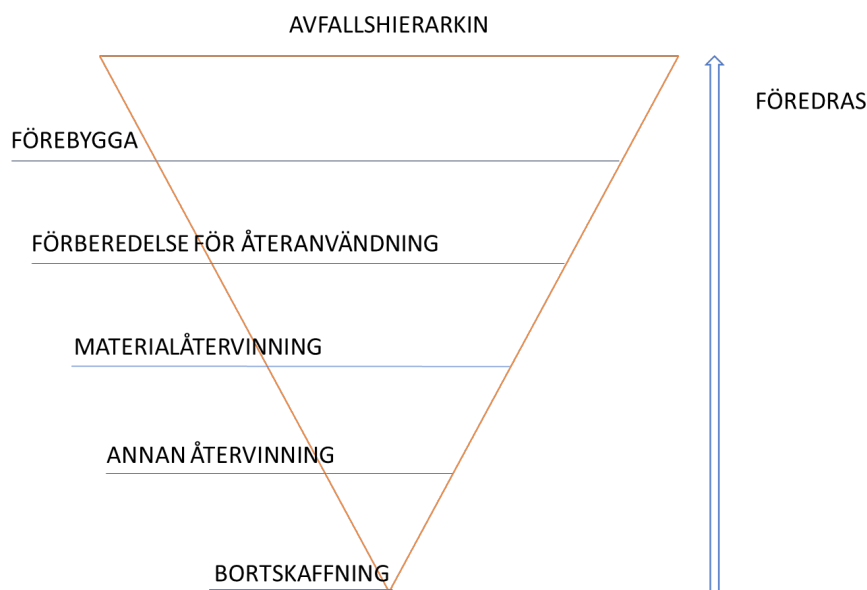
Det är svårt att ange i vilken omfattning som import av exempelvis flygaska från koleldade kraftverk sker till Sverige för användning som alternativa bindemedel då det saknas statistik över grönlistat avfall.

Avfallshierarkin

För att tydliggöra vad som behöver prioriteras och sträva efter finns avfallshierarkin, se figur 12, som är befast i svensk och europeisk lagstiftning (Naturvårdsverket 2022f). Avfallshierarkin framgår av 15 kap. 10 § och 2 kap. 5 § miljöbalken. Enligt avfallshierarkin ska avfall alltid först och främst förebyggas. För avfall som ändå uppstår ska den som behandlar avfall eller är ansvarig för att avfall blir behandlat följa avfallshierarkin. I första hand ska avfallet förberedas för återanvändning. I andra hand materialåtervinnas, i tredje hand återvinnas på annat sätt och i sista hand bortskaffas. Ordningen gäller under förutsättning att det är miljömässigt motiverat och ekonomiskt rimligt. Vilken typ av återvinning som ska väljas bedöms i det enskilda fallet.

Enligt Naturvårdsverkets officiella statistik ökade avfallsmängderna samtidigt som statistiken visar att mängderna avfall som materialåtervinns har minskat (Naturvårdsverket 2022g).

Uppgifterna avser genererade och behandlade mängder avfall i Sverige, exklusive gruvavfall från gruvsektorn. Den nationella avfallsstatistiken omfattar de tre sista nivåerna i avfallshierarkin; materialåtervinning, annan återvinning och bortskaffning. Materialåtervinning innebär att avfallsmaterial upparbetas till produkter, material eller ämnen, antingen för det ursprungliga ändamålet eller för andra ändamål. Avfall kan även behandlas så att det blir till energi, till konstruktionsmaterial eller användas för återfyllning och markspridning.



Figur 12. En illustration av avfallshierarkin som visar prioriteringsordningen för lagstiftningen och insatser inom avfallsområdet. Avfallshierarkin är gemensam för hela EU. Avfall ska först och främst förebyggas (modifierad efter Europeiska kommissionen 2023)

Hur avfall kan upphöra att vara avfall

Den som återvinner avfall ska göra en bedömning om de fraktioner som är resultatet av en återvinningsprocess har upphört att vara avfall (Naturvårdsverket 2022h). Bedömningen ska göras utifrån kriterier som finns i miljöbalken eller i särskilda EU-förordningar. Det är viktigt att verksamhetsutövare gör tydliga bedömningar av när avfall upphör att vara avfall. Om det är otydligt om ett material klassas som avfall eller produkt finns det risk för att varken avfalls- eller kemikalielagstiftningen följs, vilket kan leda till påverkan på människors hälsa eller miljön.

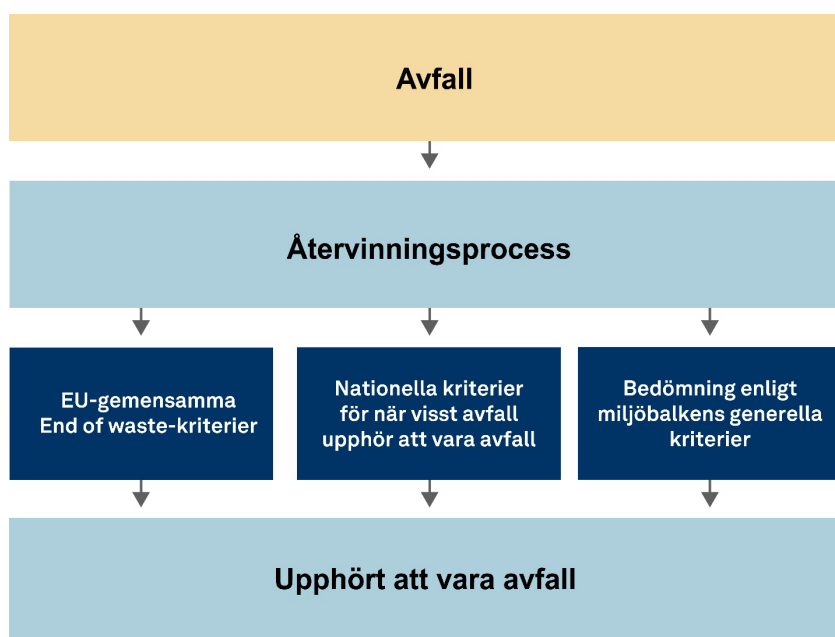
I avfallsdirektivets artikel 6 finns villkor för när avfall ska anses ha upphört att vara avfall, bestämmelserna har genomförts i 15 kap. 9 a–c § miljöbalken. Det framgår av 15 kap. 9 a § miljöbalken att avfall som har genomgått ett återvinningsförfarande *upphör att vara avfall* om

1. ämnet eller föremålet ska användas för ett visst ändamål,
2. det finns en marknad för eller efterfrågan på sådana ämnen eller föremål,
3. ämnet eller föremålet uppfyller tillämpliga krav i lag och annan författning, och
4. användningen av ämnet eller föremålet inte leder till allmänt negativa följder för människors hälsa eller miljön.

En process där avfall återvinns kan utgöra en anmälnings- eller tillståndspliktig verksamhet enligt 29 kap. miljöprövningsförordning (2013:251). När avfall har upphört att vara avfall kan det definieras med olika begrepp beroende på vilken lagstiftning materialet omfattas av. Att materialåtervinna avfall innebär att ett avfall går från att vara ett avfall till att bli en produkt.

För att avfall ska upphöra att vara avfall behöver återvinnaren göra en bedömning enligt fastställda kriterier. Inom EU finns det tre olika typer av kriterier som kan användas för att bedöma när avfall har upphört att vara avfall (se figur 13).

Det vanligaste sättet i Sverige är att återvinnaren ska göra en bedömning att avfall upphört att vara avfall enligt de generella kriterier som finns i 15 kap. 9 a § miljöbalken. Det finns i dagsläget inga nationella kriterier för när ett visst avfall kan upphöra att vara ett avfall i Sverige.



Figur 13. Inom EU finns det tre typer av kriterier för att bedöma när avfall upphör att vara avfall. I Sverige saknas nationella kriterier, därför ska EU-förordningar för *End of Waste* eller miljöbalkens generella kriterier användas. Illustratör: Naturvårdsverket.

Alla verksamhetsutövare som genomför en återvinningsprocess behöver göra en bedömning om de fraktioner som är resultat av processen ska anses ha upphört att vara avfall. Det är i det sista steget i en materialåtervinningsprocess som avfall upphör att vara avfall. Förenklat beskrivet kan avfallet anses ha upphört att vara avfall när det har sådana egenskaper att det motsvarar en produkt som kan användas direkt eller ett material som används vid tillverkning av nya produkter.

Prövning av miljöfarlig verksamhet

Den som bedriver miljöfarlig verksamhet kan ha tillstånds- eller anmälningsplikt för sin verksamhet. I Sverige finns cirka 6 000 tillståndspliktiga verksamheter. Prövning genom tillstånds- och anmälningsplikt enligt 9 kap. 6 § miljöbalken (1998:808) är ett sätt för samhället att få en resursavvägd kontroll över de verksamheter som från tid till annan bedöms vara de mest störande. Det är samtidigt ett sätt att skapa rättstrygghet för verksamheterna och dem som påverkas mest av dessa.

Miljöprövningsförordningens (2013:251) första kapitel innehåller regler om tillstånds- och anmälningsplikt, prövning av tillståndsfrågor, handläggning av anmälningar, verksamhetskoder och industriutsläppsverksamheter. Enligt 1 kap. 2 § industriutsläppsförordning (2013:250) avses med industriutsläppsverksamhet: en verksamhet som är tillståndspliktig eller omfattas av ett tillstånd enligt miljöprövningsförordningen (2013:251) med en verksamhetskod som slutar med ”-i”. Miljöfarlig verksamhet är uppdelad i olika typer eller branscher och bestämmelserna för dem framgår av kapitlen 2–32. Beroende på hur en verksamhet utformas och bedrivs kan flera verksamhetskoder i miljöprövningsförordningen bli aktuella.

Enligt analys av statistik för miljötillståndsprövningar (Naturvårdsverket 2022i) är medianen för handläggningstid för en hel tillståndsprövning i domstol i första instans 501 dagar för miljöfarlig verksamhet och 331 dagar för vattenverksamhet.

Nedan följer en översiktlig genomgång med exempel på viktiga frågor vad gäller prövning av verksamheter för brytning av mineraliska och icke-mineraliska ämnen.

Brytning av mineraliska ämnen

En verksamhet som utvinner malm eller mineral benämns ofta gruva eller gruvverksamhet. För gruvdrift krävs både bearbetningskoncession enligt minerallagen (1991:45) och tillstånd enligt miljöbalken. Av 1 kap. 3 § miljöbalken framgår att miljöbalken gäller parallellt med bestämmelser i annan lag. På liknande sätt gäller att det för verksamheter som regleras i minerallagen även träffas av bestämmelser i annan lagstiftning, jfr 1 kap. 7 § minerallagen. Förutom miljöbalken hänvisas det även till plan- och bygglagen (2010:900) och kulturmiljölagen (1988:950). Om fyndigheten finns på havsbotten kan det också krävas tillstånd enligt lagen (1966:314) om kontinentalsockeln.

Minerallagen och miljöbalken är lagstiftningar med lite olika syften. Syftet med miljöbalken är att främja en hållbar utveckling och tillförsäkra nuvarande och kommande generationer en hälsosam och god miljö, jfr 1 kap. 1 § miljöbalken. Miljöbalken har också som syfte att driva på utvecklingen mot ett ekologiskt hållbart samhälle. Syftet med den svenska minerallagen är att möjliggöra samhällets försörjning av nödvändiga metaller och mineral genom utvinning av särskilt utpekade naturresurser, så kallade koncessionsmineral (Bergsstaten 2022b). I 1 kap. 1 § punkten 2 minerallagen finns ämnen som enligt denna rapport skulle kunna vara intressanta alternativa bindemedel, bland annat leror som är eldfasta eller värmebehandlade. Ett exempel på det är kaolinleror.

1 § Denna lag gäller undersökning och bearbetning av fyndigheter på egen eller annans mark av följande mineraliska ämnen (koncessionsmineral):

1. antimon, arsenik, beryllium, bly, cesium, guld, iridium, järn som förekommer i berggrunden, kobolt, koppar, krom, kvicksilver, lantan och lantanider, litium, mangan, molybden, nickel, niob, osmium, palladium, platina, rodium, rubidium, rutenium, silver, skandium, strontium, tantal, tenn, titan, torium, vanadin, vismut, volfram, yttrium, zink och zirkonium,
2. andalusit, apatit, brucit, flusspat, grafit, kyanit, leror som är eldfasta eller klinkrande, magnesit, magnetkis, nefelinsyenit, sillimanit, stensalt eller annat salt som förekommer på liknande sätt, svavelkis, tungspat och wollastonit, och
3. diamant.

Gruvdrift är tillståndspliktigt enligt 9 kap. miljöbalken och olika provningsnivåer för utvinning av utvinning, brytning och bearbetning av torv, olja, gas, kol, malm, mineral, berg, naturgrus och annat finns i 4 kap. miljöprovningsförordningen. Gruvdrift är sådan verksamhet som alltid antas medföra en betydande miljöpåverkan enligt 6 § miljöbedömningsförordningen (2017:966). Bestämmelserna i 6 kap. 28–46 §§ miljöbalken om specifik miljöbedömning, information och samordning ska tillämpas även i ärenden om beviljande av koncession enligt 4 kap. 2 § minerallagen.

Av miljöprovningsförordningen framgår vilka verksamheter som är tillståndspliktiga enligt miljöbalken, samt vilken instans som prövar ansökan om tillstånd:

- Miljöprovningsdelegationen vid länsstyrelserna (MPD) prövar ansökan om tillstånd till provbrytning.
- Om en provbrytning prövas enligt både 9 kap. (miljöfarlig verksamhet) och 11 kap. (vattenverksamhet) miljöbalken är det mark- och miljödomstolen som är prövningsmyndighet.
- Mark- och miljödomstolarna prövar ansökan om tillstånd till gruvverksamhet.

Prövningsprocessen för gruvor skiljer sig ifrån annan industri i samhället genom att delar av prövningen utförs med stöd av minerallagen (Bergsstaten 2022a). Bergsstaten har till uppgift att

handlägga ärenden som rör prospektering och utvinning av mineral. Bergsstaten leds av bergmästaren som beslutar i frågor enligt minerallagen (Bergsstaten 2022b):

- Undersökningstillstånd.
- I vissa fall kan undersökningsarbeten, eller delar av arbeten, behöva anmälas för samråd enligt 12 kap. 6 § miljöbalken. Anmälan görs hos tillsynsmyndigheten som ofta är länsstyrelsen. Det handlar om åtgärder som ”väsentligt kan ändra naturmiljön” och som inte omfattas av anmälnings- eller tillståndsplikt enligt andra bestämmelser i balken.
- Enligt minerallagen är provbrytning att betrakta som en del av undersökningsarbetet.
- Bearbetningskoncession enligt minerallagen.

För att påbörja undersökningsarbetet behövs ett beviljat undersökningstillstånd, en gällande arbetsplan och att ekonomisk säkerhet har ställts. Som har nämnts ovan tillämpas minerallagen parallellt med annan lagstiftning, så en del åtgärder kan behöva särskilda tillstånd, anmälningar, dispenser eller prövningar då ett undersökningstillstånd inte medger undantag från andra lagar och regler.

Vid en ansökan om bearbetningskoncession enligt minerallagen måste sökanden lägga fram bevis för att fyndigheten existerar och att den sannolikt kan tillgodogöras ekonomiskt. En utvinning får inte vara olämplig i förhållande till andra allmänna intressen som till exempel skyddad natur, kommunikationsleder eller rennärning. I ansökan ingår en miljökonsekvensbeskrivning, vilken granskas av länsstyrelse och kommun. Om bergmästaren och länsstyrelsen inte är överens om markanvändningen faller regeringen avgörandet.

Genom beslutet om bearbetningskoncession avgörs vem som har rätt att utvinna de mineral som finns i området. Koncessionen ger dock inte någon rätt att påbörja verksamheten, för det krävs bland annat tillstånd enligt miljöbalken. Även om ansökan om bearbetningskoncession vanligen görs före ansökan om tillstånd enligt miljöbalken är det möjligt att ansöka om tillstånd enligt miljöbalken först, eller att göra båda ansökningarna parallellt.

Sveriges geologiska undersökning har i samråd med Naturvårdsverket och Länsstyrelsen i Västerbottens län tagit fram ytterligare vägledning om prövning av en gruvverksamhet (SGU 2016) Vägledningen omfattar hela prövningsprocessen, från undersökningsarbeten till en gruva i drift, med prövning enligt minerallagen, miljöbalken, markanvisning, bygg- och marklov och miljökonsekvensbeskrivning. Den ger råd om vad som behövs för en effektiv prövningsprocess. Den senaste versionen är från januari 2017. Sedan dess har nya bestämmelser om miljöbedömningar kommit till i 6 kap. miljöbalken, vilket innebär att motsvarande delar av vägledningen är inaktuell.

Viktiga frågor i prövning av gruvor

Gruvverksamhet innebär ett intrång i naturmiljön och ger upphov till betydande mängder avfall, med potentiell risk för miljön (Naturvårdsverket 2022j). Det är därför viktigt att gruvverksamheter bedrivs på ett sätt att påverkan på miljön hålls nere samt att gruvavfall hanteras på ett långsiktigt hållbart sätt. Normalt är det verksamhetsutövaren som är ansvarig för gruvavfallet. Även ett konkursbo kan ha ansvar.

Gruvorna står för merparten av avfallet i Sverige (Naturvårdsverket 2022k). Under 2018 generade hushåll och företag totalt 139 miljoner ton avfall, varav 104 miljoner ton kom från gruvindustrin.

Vid prövning av gruvverksamhet ska EU:s referensdokument för bästa tillgängliga teknik för hantering av avfall från gruvindustrin (*Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries in accordance with Directive 2006/21/EC*), BREF MWEI, beaktas (Naturvårdsverket 2022l). I dokumentet finns en genomgång av olika tekniker som används för att hantera gruvavfall och en värdering av vad som anses vara bästa tillgängliga

teknik. BREF MWEI lyder under utvinningsavfallsdirektivet (2006/21/EC), men även andra BREF-dokument som lyder under industriutsläppsdirektivet (2010/75/EU) kan behöva beaktas vid prövning av gruvverksamhet.

Påverkan på skyddade områden och arter, bland annat utifrån Natura 2000-bestämmelser och artskyddsförordningen, är centrala frågor i prövning av gruvverksamheter. För nya verksamheter är det viktigt att bevaka att lokaliseringen (2 kap. 6 § miljöbalken) är lämplig i förhållande till bland annat riksintressena enligt 3 och 4 kap. miljöbalken eller om det kan finnas motstående intressen för markanvändningen. Viktiga frågor att ta hänsyn till i prövningen förutom bedömningen av verksamhetens lokalisering är exempelvis buller, damm, emissioner, grundvattenspåverkan och markavvattningsfrågor.

Brytning av andra ämnen och material

Mineraliska ämnen som inte är särskilt utpekade som koncessionsmaterial, till exempel kalksten som utgör en huvudbeståndsdel i cement, omfattas inte av minerallagen och benämns markägarmineral. Utvinning, brytning och bearbetning av markägarmineral går under benämningen täktverksamhet (Naturvårdsverket 2022m). Begreppet täkt innefattar brytning och bearbetning av bland annat berg för ballast, naturgrus, torv och andra jordarter (exempelvis matjord). Definitionen på täkt är ett arbetsföretag som primärt syftar till att nyttiggöra det uttagna materialet.

Täktverksamhet utgör en miljöfarlig verksamhet enligt miljöbalken och därmed finns reglering av brytning och efterbehandling samt hur tillstånd ska ges och följas upp. De flesta täkter kräver tillstånd eller anmälan enligt miljöbalken.

Viktiga frågor i prövning av täkter

Val av täktens lokalisering kan ha stor betydelse för påverkan på människors hälsa och miljön. Hushållningen med naturresurser är en viktig aspekt vid prövning av täkter. Berg, grus, jord och torv är naturresurser som det ska hushållas med. Vid förändringarna av täktreglerna 2009 togs behovsprövningsregeln i 9 kap. 6 a § första stycket miljöbalken bort. I förarbetena framhölls dock att frågan om resurshushållning ska beaktas vid prövningar.

Det understryks att det är viktigt att vid prövningen ta ställning till om det innebär en god hushållning att bryta täktmaterialet, om täktens lokalisering är lämplig med hänsyn till det intrång i miljön som en täkt innebär. Detta är särskilt viktigt vid nyetablering av en täkt. Om ett täktmaterial utgör en begränsad resurs kan detta motivera att man särskilt prövar behovet av täkt. Detta sker genom tillämpning av främst bestämmelserna i 2 och 3 kap. miljöbalken. Prövningen av en täkt enligt miljöbalken ska omfatta alla aktiviteter som är kopplade till verksamheten. Det gäller bland annat losstagande och uttag av material, bearbetning, transporter och efterbehandling.

Naturvårdsverkets vägledning om täktverksamheter är under uppdatering vilket pågår och fortsätter under 2023 (Naturvårdsverket 2022m).

Ballast till betong – behov, användbarhet och tillgänglighet

En hållbar och långsiktig stabil materialförsörjning till betong innebär även försörjning av ballastmaterial (Schoning & Mortensen 2021). Här redovisas förutsättningarna för en långsiktig hållbar försörjning av betongballast utifrån parametrarna behov, användbarhet och tillgänglighet. Behovet för betongballast i Sverige är stort, men behoven fördelar sig olika över landet. Berggrundens användbarhet är beroende av ett antal faktorer som påverkar ballastens beteende i betongen, och tillgängligheten till lämplig berggrund påverkas inte bara av geologi men även av ett flertal motstående intressen.

Behov av betongballast

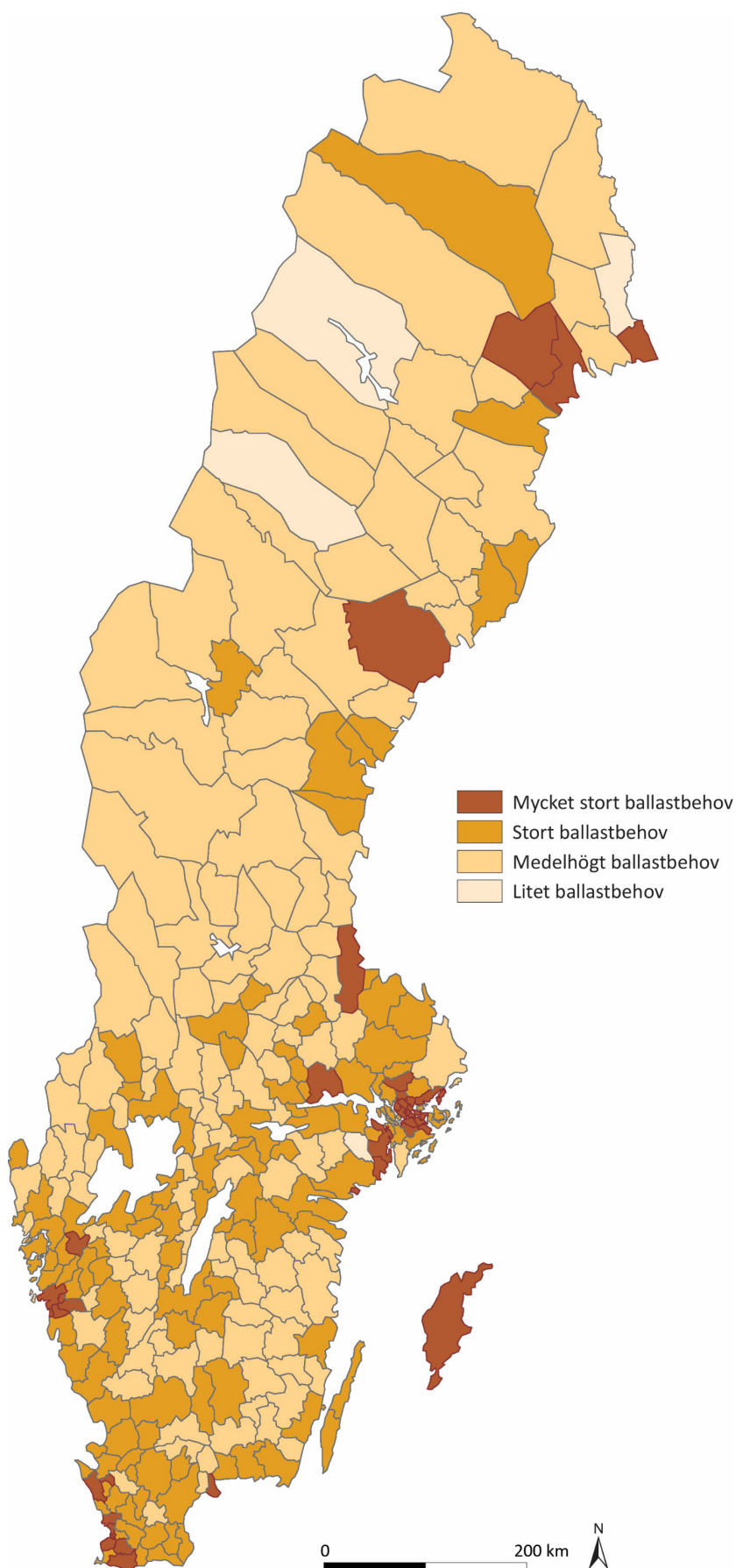
Behovet av ballastmaterial är stort i Sverige och under ett normalår förbrukas cirka 100 miljoner ton för bland annat väg-, järnvägs- och betonggändamål. Uppskattningsvis 12 miljoner ton av dessa går till betongtillverkning och mer än 3 miljoner ton cement används som bindemedel (SGU 2021). De lokala och regionala behoven av både betongballast och cement återspeglar bland annat aktiviteten inom bygg- och anläggningsbranschen och har därför uppskattas utifrån de byggprojekt som genomförs i Sverige. De data som har använts som underlag i figur 14 är en sammanställning från aktuella offentliga upphandlingar och anbud mellan åren 2021 och 2025 (Byggfakta 2022). Större infrastrukturledsprojekt är ibland långa och går genom flera olika kommuner. I vår modell är dessa dock lokaliserade endast i en kommun, vanligen startkommunen eller centralkommunen i regionen.

Antalet byggprojekt som ingår i underlaget är cirka 38 000 mellan åren 2021 och 2025. Framtida byggprojekt förekommer inom i stort sett samtliga Sveriges kommuner men de är mer frekventa i storstadsregioner som Stockholm, Mälardalen, Göteborg och Skåne. Projektens totalbudget utgör nyckelsiffra och är basen för uppskattningen av hur stor betongandel som kommer att behövas. Totalkostnader är i vissa fall extra höga varför enskilda projekt syns extra tydligt i kartmodellen, exempelvis på Gotland och i Luleå. Det samma gäller för större infrastrukturprojekt.

Klassificering av behoven av betongballast har delats in i fyra kategorier:

- **Mycket stort ballastbehov** inom kommuner med många och/eller stora pågående eller inplanerade byggentreprenader.
- **Stort ballastbehov** inom kommuner med en medelstor efterfrågan av byggentreprenader.
- **Medelhögt ballastbehov** inom kommuner med mindre byggaktivitet.
- **Litet ballastbehov** inom kommuner som saknar större byggentreprenader inom urvalsperioden.

Det finns flera sorters byggprojekt som inte är inkluderade, främst sådana från de lägre prisklasserna. En annan viktig aspekt är också att fullständig information om byggbranschens betonganvändning till olika byggobjekt bör vara deklarerad för att kunna beräkna det faktiska behovet. Sådan information saknas hos tillgängliga data och därför får det faktiska betongbehovet representeras av projektens kostnad. För en mer komplett kartbild behöver sambandet mellan budget och betongbehov undersökas och viktas statistiskt utifrån faktorer som typ av projekt.



Figur 14. Behovskarta som visar behoven av betongballast (och därmed indirekt behov av bindemedel) i Sverige fördelat på kommuner, baserat på data från Byggfakta (2022).

Berggrundens användbarhet som betongballast

Berggrund finns överallt i Sverige men det är inte allt berg som är lämpligt att använda som betongballast. I en cementbunden betongkonstruktion är ballastens egenskaper viktiga för att betongen ska vara enkel att hantera och processa samt för att betongen i slutändan ska vara beständig och hålla över en längre tid. De egenskaper som kan göra berggrunden olämplig eller problematisk för användning för betongändamål kan till exempel vara att bergets hållfasthet är låg, att den innehåller olika mineral som skapar problem vid olika typer av användning eller att berggrunden är högstrålande (en bergart som innehåller radioaktiva isotoper som kalium-40, torium eller uran). Förutsättningarna för bygghänsynen är förutom bindemedlets funktionella egenskaper även starkt beroende av ballastens egenskaper och dess sammansättning.

För vissa bergarter går det att göra generella klassningar av kvalitet utifrån deras grundläggande egenskaper, men inom respektive bergartstyp finns det variationer som gör att de kan ha olika lämplighet för betongändamål. I och med att klassificeringen är översiktlig och här baserad på ett glest informationsunderlag innebär detta att det för områden där det saknas provtagning är klassificeringen mer osäker. Det finns därför ett behov av att utöka provtagningen av berggrund och kvalitetstesta dessa material för att samhället bättre ska kunna klassificera berggrundens lämplighet att användas som betongballast med mera.

För att klassa berggrundens användbarhet som betongballast används en modell för bergkvalitetsklassning som bygger på en systematisk provtagning, analys och utvärdering av den lokala berggrunden i ett visst område (Mortensen & Göransson 2018). Modellen bygger främst på parametrarna glimmermineral (exempelvis biotit och muskovit), aktivitetsindex (AI), alkalisilikareaktivitet (ASR), och sulfidmineral (pyrit, magnetkis), se tabell 5.

Tabell 5. Parametrar som har stor betydelse för en bergarts lämplighet som betongballast.

Parametrar	Problem	Bergart exempel*
Glimmermineral	Flisig kornform	Skiffer
	Vattenabsorberande	Sedimentgnejs
Aktivitetsindex (AI)	Förhöjd strålning	Alunskiffer
		Vissa graniter
Alkalisilikareaktivitet (ASR)	Volymökning och uppsprickning	Flinta
		Vissa kvartsiter och vulkaniter
Sulfider	Vittring; frigör metaller, sänkt pH, försurning	Skiffer
	Volymökning och sprickbildning	Vulkanit
		Sedimentgnejs

*Bergarterna som anges här kan ha förhöjda halter av till exempel glimmer- eller sulfidmineral med behöver inte ha det överallt. Bergarterna ska betraktas som exempel på riskbergarter och dessa bör undersökas vidare i lokal skala ifall de faktiskt har dessa oönskade egenskaper.

Glimmermineral har en flisig kornform som gör att de i betongblandningen lättare hakar i varandra och kräver mer vatten och cement för att förbättra flytbarheten hos bruk och betong. Glimmermineral absorberar vatten som ger problem med svällning och uppsprickning vid frysgader (Lagerblad m.fl. 2008).

Aktivitetsindex, AI, är ett mått för naturlig strålning i ballastmaterialet och beror på radioaktiva mineralförekomster i berggrunden. Högstrålande ballastmaterial rekommenderas inte till ballast för husbetong då de kan avge radon (Jelinek & Eliasson 2015).

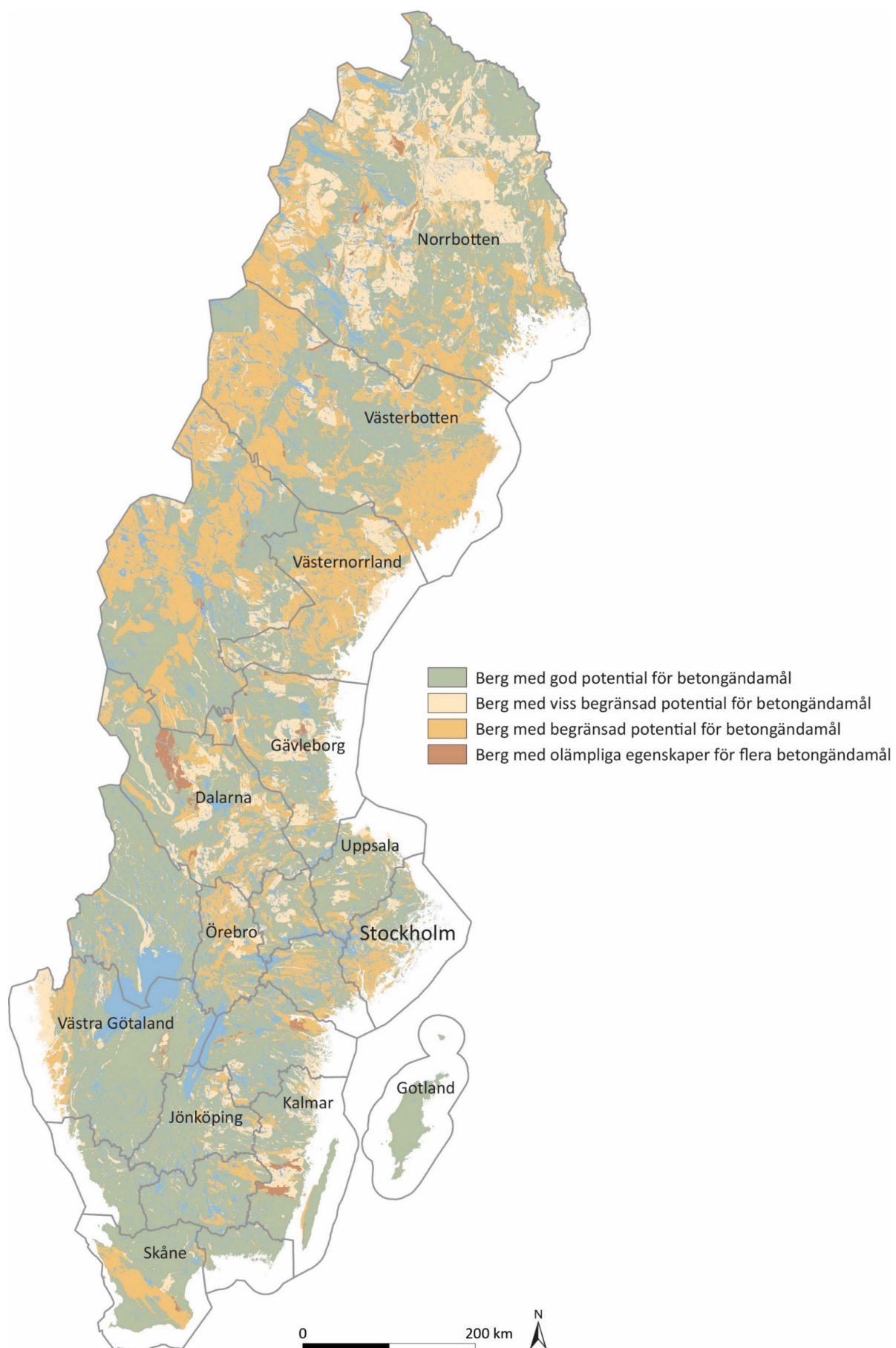
Alkalisilikareaktivitet, ASR, är risken för att ett ballastmaterial ska bilda en geléartad massa, så kallat alkalisilikagel, genom en kemisk reaktion mellan kvarts i ballasten och den alkalina porlösningen i betongen. Alkalisilikareaktiva ballastmaterial kan orsaka volymökning och uppsprickning av betongkonstruktioner, särskilt om dessa utsätts för fukt (Svenska Betongföreningen 2020).

Sulfider i ett ballastmaterial påverkar betongens härdning, ger volymökning med sprickbildning och påverkar betongens frostbeständighet (Kockum m.fl. 2015, Miškovský m.fl. 2022).

Berggrundens lämplighet som ballast i betong har klassificerats i fyra olika kategorier (figur 15):

- **Berg med god potential för betongändamål** är berggrund med låga värden på samtliga viktiga parametrar för betongändamål.
- **Berg med viss begränsad potential för betongändamål** är berggrund där enstaka kravparametrar för betongändamål bedöms vara svåra att uppnå.
- **Berg med begränsad potential för betongändamål** är berggrund där mer än en kravparameter för betongändamål bedöms vara svåra att uppnå.
- **Berg med olämpliga egenskaper för flera betongändamål** är berggrund där flera av parametrarna för betongändamål uppskattas vara svåra att uppnå.

Utöver de ovan nämnda parametrarna som är viktiga för ballast till betong finns det egenskaper, vanligen relevanta för mineralogiska beskrivningar och bergteknik, som inte har tagits upp i den här rapporten. Exempel är vittring och leromvandling, partikelform, och vattenabsorption (Mortensen m.fl. 2020)



Figur 15. Karta över berggrundens lämplighet som betongballast i Sverige.

Markens tillgänglighet för utvinningsverksamhet för berggrund lämplig som betongballast

För att kunna starta eller fortsätta bedriva en täkt för utvinningsverksamhet är det nödvändigt att marken är tillgänglig. Tillgänglighet av markområden för utvinningsverksamhet har i denna analys begränsats av tre olika parametrar:

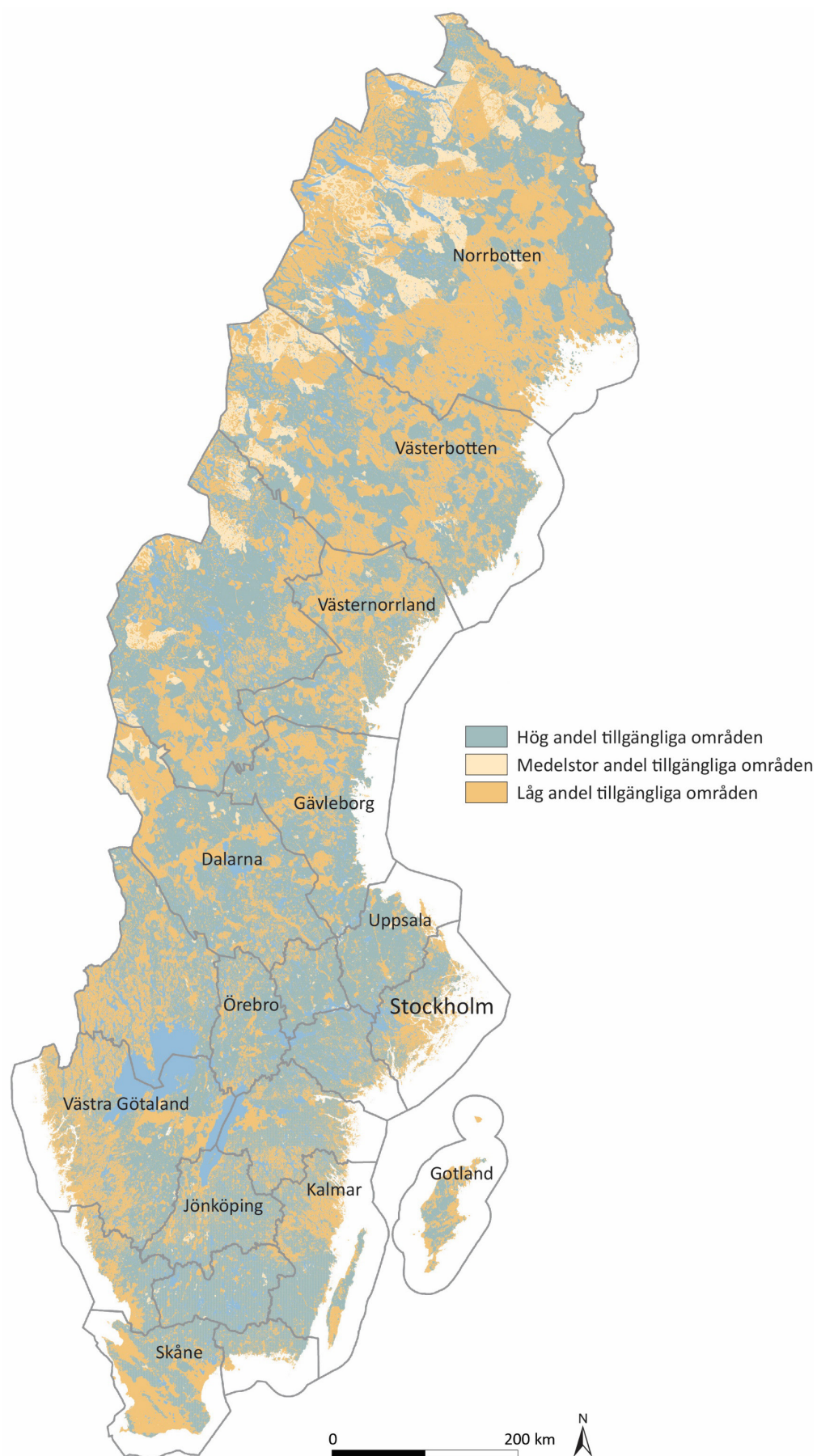
- **Jorddjup.** Områden med allt för stora jorddjup är ointressanta ur ekonomisk synvinkel. Generellt anses jordmaktigheter upp till 10 m vara acceptabla. Vid större jorddjup blir kostnaderna för schaktning med mera ofta för höga.
- **Stadsområden.** I tätortsområden och även i områden med infrastrukturleder är möjligheterna till materialutvinning starkt begränsade.
- **Motstående intressen.** Skyddad natur av olika slag utgör ofta motstående intressen mot nuvarande och framtida utvinningsverksamheter. Ibland kan dessa samverka och båda intressena kan uppfyllas – bevarande av natur och utvinning av viktiga ballastmaterial för byggandet. I områden där det förekommer skyddad natur, eller andra höga naturvärden, anses det finnas svårigheter att öppna upp ny utvinningsverksamhet.

Klassificering av markens tillgänglighet för utvinningsverksamhet

Markens tillgänglighet för utvinningsverksamhet har klassificerats i tre olika kategorier (figur 16):

- **Hög andel tillgängliga områden** utan motstående markintressen såsom skyddad natur, Natura 2000 med mera. Jordmaktigheterna understiger 10 m och områden innefattas inte av stadsbebyggelse eller infrastruktur.
- **Medelstor andel tillgängliga områden** där tillgängligheten av mark inom dessa områden är medelstor vilket indikerar att det finns motstående intressen till en viss grad.
- **Låg andel tillgängliga områden** avser områden som ligger inom motstående markintressen som skyddad natur, exempelvis Natura 2000, har jorddjup mer än tio meter eller utgör del av stadsbebyggelse alternativt infrastrukturled. Dessa områden har en dålig marktillgänglighet och förutsättningarna för att kunna öppna en utvinningsverksamhet inom dessa är små.

Utöver de ingående parametrarna som utgör motstående markintressen finns det naturligtvis fler. Själva kustområdet över större delen av Sverige är skyddat mot anläggningsverksamhet i miljöbalken men har inte tagits med i denna analys. Särskilda riksintressen avseende infrastruktur-objekt, flygplatser med mera är inte heller medtagna. Man kan inte utesluta att sådana motstående markintressen kan hindra en utvinningsindustri.



Figur 16. Karta över tillgängligheten till berggrund lämplig för betongballast i Sverige.

DISKUSSION OCH KOMMENTARER

Betong är en produkt som tillverkas i stora mängder. I Sverige används cirka 15 miljoner ton per år och globalt mellan 20 och 30 miljarder ton (Svensk betong 2023). För att minska betongens klimatpåverkan krävs att en del av det kalkstensbaserade bindemedlet (portlandcementklinker) byts ut mot alternativa bindemedel med avsevärt lägre CO₂-avtryck. Portlandcement är i grunden ett mycket bra bindemedel med många goda egenskaper som har utvärderats under en lång tid. Alternativa bindemedel behöver spela en större roll än det gör i dag och vi har i denna rapport sammanfattat kunskapsläget gällande dessa. Det är dock viktigt att notera att alternativa bindemedel enbart kan ersätta en del av portlandcementen och därmed krävs även andra åtgärder för att på sikt kraftigt minska klimatpåverkan från cement och betong.

Användningen av alternativa bindemedel skiljer sig åt mellan olika länder vilket beror på den inhemska tillgången till olika material samt på byggtraditionen. Agenda 2030 och Parisavtalet satte fokus på hållbarhets- och klimatarbetet och satte press på cement- och betongbranscherna. Detta resulterade i att nationella färdplaner togs fram för att staka ut vägen mot klimatneutralitet. En viktig åtgärd på vägen mot klimatneutralitet är att ersätta en del av portlandcementen med alternativa bindemedel. Detta görs i viss mån redan i dag, i vissa länder och för vissa applikationer sedan lång tid tillbaka. Det finns många utmaningar med produktion och användning av alternativa bindemedel. Förutom att kemiska och tekniska krav ska uppfyllas krävs det stor och uthållig tillgång på lämpliga råvaror och en god tillgänglighet till dessa, samt en fungerande produktion och väl utbyggda logistikkedjor för att nå en låg klimatpåverkan. Det ställs höga krav på betong och dess ingående delmaterial, speciellt när betong används i bärande konstruktioner där undermålig kvalitet kan innebära risk för liv och hälsa. Dessa kvalitetskrav förhindrar i många fall användning av nya material och material som saknar certifierad kvalitet och prestanda.

De alternativa bindemedel som tillåts och används i Sverige i dag är flygaska från koleldade kraftverk, granulerad masugnsslagg (GGBS), silikastoft samt mald kalksten som betraktas som lågreaktiv. Flygaska och granulerad masugnsslagg utgör den största volymen av alternativa bindemedel i svensk betong. Användningen av dessa kan ske i större utsträckning än det görs i dag, men den låga inhemska tillgången på dessa material nödvändiggör import. Tillgången på flygaska är beroende av koleldade kraftverk som på grund av rådande klimatstrategier minskar i antal i Europa. Samma gör sig gällande för den inhemska produktionen av granulerad masugnsslagg som gradvis kommer att minska. Det är därför angeläget att skyndsamt säkra tillförseln och användningen av andra alternativa bindemedel för att dels täcka upp för bortfall av alternativa bindemedel till den nuvarande betongproduktionen, dels förbättra möjligheterna till att öka mängden inblandning av alternativa bindemedel i framtida betongproduktioner.

Det förbrukas cirka 3,4 miljoner ton cement till betong per år (inklusive blandcement och alternativa bindemedel) i Sverige.

En förenklad analys visar att GGBS och flygaska från kolkraft skulle kunna ersätta en betydande del av portlandsklinkern. För GGBS skulle drygt 1 miljon ton kunna komma till användning årligen i Sverige. Produktionen av GGBS i Sverige motsvarar en mycket mindre del av det potentiella behovet. Även behovet av flygaska från kolkraft (vid maximal användning) motsvarar runt 1 miljon ton årligen, men då tillgången är begränsad i Europa är sannolikheten för att uppnå denna ersättningsgrad liten.

Behovet av silikastoft är något mindre då man i praktiken endast använder maximalt 5 % och då enbart för vissa applikationer motsvarande ett årsbehov på cirka 0,34 miljoner ton. Silikastoft är ett dyrt alternativ i förhållande till både GGBS och flygaska och innebär samtidigt ett importbehov.

Vilka material kan då vara intressanta att använda i framtiden för att ersätta delar av portlandcementklinker i cement och betong när de tre etablerade alternativa bindemedlen, GGBS,

flygaska och silikastoft, minskar eller inte längre finns tillgängliga? Nedan diskuteras för- och nackdelar hos materialen och vad som kan göras för att öka möjligheterna till framtagning och användning. De framtida potentiella kandidaterna till alternativa bindemedel som lyfts fram här i rapporten är naturliga och kalcinerade puzzolaner som exempelvis vulkanisk aska samt aktiverade leror. Dessa material har beprövats i ett antal forskningsprojekt samt i verkliga tillämpningar vilket eventuellt innebär en relativt kort introduktionstid för dessa. Även andra material med varierande mognadsgrad och behov av längre introduktionstid som exempelvis aska från förbränning av biomassor och avfallsförbränning, metallurgiska slagger, gruvavfall, bergarten suevit, samt finkornigt nedkrossat material från betongåtervinning diskuteras.

Potential för alternativa bindemedel med hög teknisk mognadsgrad (TRL)

Vissa alternativa bindemedel kan redan i dag användas som huvudbeståndsdel i blandcement. I dessa fall anges kraven på råmaterialet i cementstandarderna. Det som saknas för dessa material är harmoniserade produktstandards och regler för användning av dessa material som reaktiva tillsatsmaterial typ II till betong. En möjlighet är att definiera lämpliga produkter eller produktgrupper för vilka man kan ansöka om ett Europeiskt Tekniskt Godkännande, ETA (*European Technical Assessment*). Man bör även starta ett arbete för att ta fram europeiska produktstandards för dessa material och att användningen av materialen behandlas i den europeiska betongstandarden (SS-EN 206).

Så länge det inte finns EN-standarder för tillämpning av dessa material kan även nationella produktstandards tas fram och nationella regler för deras användning i betong utarbetas. Om ett material inte är accepterat som en huvudbeståndsdel i ett blandcement kan det även tas fram ETA för blandcement med aktuellt material.

Naturliga puzzolaner av vulkaniskt ursprung

Naturliga vulkaniska puzzolaner används redan vid tillverkning av cement och bruk i olika delar av världen. Import och export av vulkaniska puzzolaner kommer troligen att öka. Eftersom Sverige inte har några inhemska förekomster av recenta vulkaniska material är import det enda sättet att få tillgång till detta alternativa bindemedel. Ett hinder för att öka produktionsvolymen är svårigheter att få tillstånd att bryta materialet. Fyndigheterna är ofta belägna i tätbefolkade områden av Europa (med undantag för Island) och ökade produktionsvolymerna innebär målkonflikter med omgivande samhälle.

De tekniska utmaningarna med vulkaniska askor är relativt små då materialet använts under lång tid vilket har gjort att erfarenhet byggts över tid. I dag saknas harmoniserade standarder för att använda vulkaniska askor som alternativt bindemedel i betong i Sverige, men forskning och utveckling inom tillämpning pågår.

Aktiverade leror

Aktiverade leror har en stor potential som alternativa bindemedel och är vanligt förekommande i Europa. Även i Sverige finns det betydande fyndigheter. De för ändamålet mest intressanta lerorna finns främst i Skåne och i Stockholmsområdet.

För att kunna använda svenska leror behövs en detaljerad kartläggning av förekomster och lertyper samt deras egenskaper. Leror behöver aktiveras för att kunna användas som alternativa bindemedel. Detta sker främst genom upphettning till mellan 600 och 800 °C (kalcinering) följt av malning som orsakar ett visst koldioxidutsläpp. Själva lermaterialet avger ingen koldioxid.

Liksom för vulkaniska puzzolaner är de tekniska utmaningarna relativt små då aktiverade leror redan i dag kan användas vid cementtillverkning, men det saknas harmoniserade standarder för användning som alternativa bindemedel till betong. En utmaning kopplat till användning av leror

är att nya brytningstillstånd för lerfyndigheter kan vara svåra att få, bland annat på grund av motstående intressen.

Metallurgiska slagger

Metallurgiska slagger (förutom granulerad masugnsslagg) kan ha en medelhög eller hög reaktivitet och tillhör därför en av de främsta kandidaterna för utveckling som alternativt bindemedel i betong. Hinder för dessa material kan vara begränsad lokal tillgänglighet och tillgängliga volymer. Dessutom måste innehållet av tungmetaller vara tillräckligt lågt för att uppfylla de krav som finns gällande utlakning av tungmetaller till mark eller grundvatten.

Det finns inga standarder för denna grupp av alternativa bindemedel, varken för användning i fabriksstillverkade cement eller som reaktivt tillsatsmaterial till betong, så produktkrav och kvalitetssystem behöver utarbetas och fastställas.

En lösning är att definiera lämpliga produkter eller produktgrupper för vilka man kan ansöka om ett Europeiskt Tekniskt Godkännande (ETA). Man bör även verka för att det startas upp ett arbete för att utarbeta europeiska produktstandarder samt att användningen av dessa material behandlas i den europeiska betongstandarden (SS-EN 206). Så länge det saknas EN-standarder för denna tillämpning av materialet kan egna nationella produktstandarder tas fram för materialet och nationella regler för användning i betong utarbetas.

Suevit

Bergarten suevit bedöms vara en potentiell kandidat som alternativt råmaterial då glasfasen i bergarten reagerar puzzolant vilket kan ökas genom kalcinering. En nackdel är dock att bergarten har begränsad förekomst, och att det i dag saknas standarder för detta material.

Potential för alternativa bindemedel som har en lägre teknisk mognadsgrad (TRL)

Innan material som har en lägre teknisk mognadsgrad kan introduceras på marknaden och användas i bärande betongkonstruktioner måste den tekniska mognadsgraden höjas. Detta gäller såväl vilka krav man ska ställa på materialet och hur materialet kan användas i betong. Möjligen kan mindre beprövade material introduceras i enklare betongprodukter som inte är bärande för att på så sätt få erfarenhet av hur de fungerar i praktiken och i olika miljöer.

Aska från biomassor

Aska från biomassor, främst från trä- och cellulosaindustrin, har potential att användas i framtiden. I Sverige finns stor tillgång på dessa askor. Både flygaskan och bottenaskan från biomassor uppvisar tillräcklig reaktivitet för att kunna användas i betong.

Nackdelen är att kvaliteten är ojämn, den varierar mellan olika förbränningsställen beroende på utgångsmaterial. Askan kan innehålla större mängder ämnen som är skadliga för betong och omöjliggöra användning av obehandlad aska från biomassor i betong för bärande konstruktioner.

För att få en jämnare kvalitet med lägre halter av skadliga ämnen kan följande behandlingsmetoder vara aktuella:

- Blandning av askor från flera fabriker i blandningsbäddar i vilka askans kemiska sammansättning kontrolleras och styrs.
- Vid ett alltför högt innehåll av sulfater, klorider eller alkalier kan askan tvättas för att laka ut de skadliga ämnena.
- Förbättring av förbränningsprocessen för att få en aska med bättre kvalitet med mindre kolinnehåll och glödförlust.

I dagsläget befinner sig askor av biomassor långt från att kunna introduceras på marknaden. För att de ska kunna användas måste problemen som nämnts ovan lösas.

Aska från avfallsförbränning

Det finns god tillgång på aska från avfallsförbränning i Sverige och i Europa, men det finns många utmaningar som måste hanteras innan sådana askor kan vara aktuella för användning i betong. Flygaska från avfallsförbränning uppvisar ofta höga halter av tungmetaller och andra skadliga ämnen. Bottenaskan har grövre kornstorlek och innehåller lägre halter av farliga ämnen, men innehållet av metallerna aluminium och koppar samt glasfragment innebär att det är svårt att använda bottenaskan som ballast eller filler.

Aluminium och koppar är inte stabila i den alkaliska miljön i betongen och löses upp varvid vätgas bildas, vilket kan ge stora hålrum i betongen. Bildande av aluminiumhydroxid kan också orsaka avflagnings av betong. Flaskglas kan orsaka sprickbildning på grund av skadlig alkali-silikareaktion (ASR). På grund av dessa risker är det olämpligt att använda bottenaska som ballast i betong. Att mala ner bottenaskan och använda den som alternativt bindemedel kan innebära nya problem då tungmetaller har lättare att utlakas.

För att kunna utnyttja dessa askor behöver behandlingsmetoder för att minska innehållet av tungmetaller och andra skadliga ämnen utvecklas.

Gruvavfall

Gruvavfall som lagras i anrikningssand (sandmagasin) bedöms ha potential att användas som filler (finkornig ballast) i betong eller på längre sikt kunna användas som alternativt bindemedel. I Sverige finns det stora tillgångar av gruvavfall, främst i Bergslagen och i delar av Norrland. Den avlägsna lokaliseringen av sandmagasin kan innebära långa transportsträckor och belastning på järnvägsnätet eftersom det är i södra Sverige som cement- och betongproduktionen finns. SGU har tidigare undersökt kemin i de mellansvenska sandmagasinen, men ytterligare undersökningar krävs för att karakterisera sandmagasinen i hela landet. SGU:s pågående regeringsuppdrag *att öka möjligheterna till hållbar utvinning och återvinning av mineral och metall från sekundära resurser* (2021) ska bidra till omställningen till en mer cirkulär och resurseffektiv ekonomi. Fokus ligger på kritiska mineral och metaller, men arbetet omfattar även andra mineral och metaller där det bland annat utvärderas hur man mineralogiskt kan ta vara på gruvavfall. Synergieffekter bedöms kunna uppnås i relation till detta uppdrag om det ges möjlighet till nya projekt som fokuserar på möjligheterna till utvinning av alternativa bindemedel.

För användning som filler kan gruvavfall certifieras enligt ballaststandarden SS-EN 12620. Man bör då även ha kontroll på innehållet av skadliga ämnen i dessa material.

Om gruvavfallet är puzzolant, till exempel på grund av att det innehåller zeoliter eller andra reaktiva mineral, kan det komma i fråga som en naturlig puzzolan. Det finns dock ingen harmoniserad standard för naturliga puzzolaner för användning som tillsatsmaterial typ II i betong.

Återvinning och återanvändning

Krossat betong återvinns i dagsläget främst som ballast. Om materialet krossas ytterligare fås ett fint pulver som går att använda som alternativt bindemedel. Detta ger en klimatomställning i och med att betong binder till sig koldioxid mer effektivt desto mer yta som är exponerad för atmosfären. Forskning pågår kring återvinning av cement genom separering av restreaktiv, icke-karbonatiserad cement, eller som ingrediens till slagg som sedan kan ingå som ingrediens till ny betong, men detta är fortfarande i ett pilotstadium (Sika 2022, Cambridge 2022). Processen med återvinning kan också vara mer energikrävande än att framställa en primär produkt (Naturvårdsverket 2021). Det är i dagsläget enbart mindre mängder som produceras genom

denna process, men har potential att öka cirkulariteten och minska behovet av andra alternativa bindemedel något. Det finns möjligheter att skala upp denna typ av återvinning. Återanvändning av betong som inte krossas kan i vissa fall ske direkt genom att förflytta betongelement från rivningsprojekt till nybyggnationer. Denna typ av återanvändning är något som Boverket undersöker, bland annat i regeringsuppdraget kring utveckling av arbetet med omställningen till en cirkulär ekonomi i byggsektorn (2022).

Hur kan potentiella alternativa bindemedel introduceras på marknaden?

Ett sätt att introducera framtida alternativa bindemedel på marknaden som inte äventyrar säkerheten hos byggnadsverk är att använda dem i byggprodukter där komponenterna inte behöver deklarerats (exempelvis torrbruk eller putsbruk), eller i betongprodukter som inte är bärande (betongvaror). Detta kommer dock troligtvis inte att vara tillräckligt om man vill introducera större mängder alternativa bindemedel. Vissa tillämpningar kan också uteslutas av estetiska skäl, om till exempel ett alternativt bindemedel orsakar icke-acceptabla färgförändringar.

Nya alternativa bindemedel som har potential att användas i cement och betong bör med fördel utvecklas i samarbete och samförstånd med cement- och betongindustrin. För cementindustrin är det viktigt att klinkersättningsmaterial finns tillgängligt i stora volymer av jämn och kontrollerad kvalitet. Betongindustrin kan däremot arbeta med mindre mängder, men det krävs att produkten är kvalitetssäkrad och certifierad.

Bindemedlet i betong behöver inte bara innehålla ett enstaka alternativt bindemedel utöver portlandcement, utan kan innehålla flera. Fördelen med det är att de olika materialens inverkan på betongegenskaperna kan balanseras. När det gäller GGBS och aktiverad lera tillsätts till exempel ofta kalksten för att få en bättre kornstorleksfördelning vilket ger betongen bättre arbetbarhet. Exempelvis kan ett alternativt bindemedel som ger långsammare hållfasthetsutveckling tidigt kombineras med ett som ger snabbare hållfasthetsutveckling, till exempel silikastoft.

En flaskhals för att introducera nya alternativa bindemedel, utöver de standardiserade granulerad masugnsslagg och flygaska, som reaktiva tillsatsmaterial är att det inte finns några regler för hur dessa kan användas i betong. Den europeiska betongstandarden SS-EN 206 tillåter sådana om de är certifierade, men ger inga anvisningar för hur de kan användas i betongen. Inte heller den svenska tillämpningsstandarden SS 137003 ger några vägledningar om under vilka förutsättningar de kan användas i betong. En liten öppning har gjorts i SS 137003:2021 för cement med ETA, för användning i vissa icke-aggressiva miljöer och där säkerhetskraven är låga. Arbete pågår med att öka dessa möjligheter. Grundförutsättningen för detta kommer att vara att de provas med avseende på egenskaper som är relevanta för den aktuella miljön eller att det finns dokumenterad praktisk erfarenhet i liknade miljö.

SS 137003 revideras kontinuerligt, och om det utarbetas harmoniserade produktstandards för nya alternativa bindemedel kommer SS 137003 att uppdateras.

Finner man att det finns ett särskilt intresse av att introducera ett material på den svenska marknaden som inte har standardiserats på europeisk nivå av CEN kan en svensk standard för materialet tas fram, och regler för användning av detta införas i SS 137003.

Ett hinder för introduktion av nya alternativa bindemedel kan vara att det saknas acceptans i samhället eller inom industrin för sådana material. I Sverige har det tidigare funnits negativa erfarenheter kring användning av GGBS i betong, då inte prestanda- och beständighetskraven uppfylldes. Detta har påverkat acceptansen av detta alternativa bindemedel. Tillämpningen av kiselhaltig flygaska från koleldade kraftverk tog lång tid på grund av avsaknaden av denna typ av flygaska i Sverige. Inte förrän mot slutet av 1980-talet infördes möjligheten att använda de

alternativa bindemedlen GGBS, silikastoft och flygaska i betong, i försiktiga doseringar. Dessa möjligheter har stegvis utökats sedan dess och i den nyligen utgivna revideringen av den svenska tillämpningsstandarden för betong, SS 137003, togs ytterligare ett avgörande steg mot högre ersättningsnivåer för GGBS och flygaska.

Utöver acceptans som reaktivt tillsatsmaterial, kan man inrikta sig på att använda materialet som en huvudbeståndsdel i en standardiserad cement, eller möjligtvis en cement med ETA. Detta kräver utarbetande av de tekniska specifikationerna för dessa. Det är fortfarande upp till varje nation att bestämma i vilka miljöer denna cement ska anses vara accepterad baserat på cementens inverkan på betongens beständighetsegenskaper.

Jämförelse av olika bindemedel

Olika bindemedel har jämförts med varandra på grundval av ett antal olika kriterier i tabell 6. Kriterierna har valts med utgångspunkt från relevans för användning som bindemedel i betong och betongprodukter, både bärande och icke bärande betong.

Kriterierna är:

- Tillgänglighet: ● hög ● medel ● låg
- Produktens tekniska mognadsgrad: 1–4 forskning och validering i laboratorium,
5/6 validering/demonstration i pilotprojekt,
7 prototyp i relevant miljö
8/9 färdigställd/i produktion

TRL -skala (*Technology Readiness Level*) från Europeiska kommissionen (2023).

- Standardiseringsnivå: Produktstandarder och tillämpningsregler finns redan tillgängliga (✓Ja/✗Nej)
- Certifiering: Certifiering genomförs i dagsläget, mot standarder, som ETA eller som nationella godkännanden (✓Ja/✗Nej)
- Kvalitetskontroll: Det sker åtminstone tillverkningskontroll i fabrik (✓Ja/✗Nej)
- Annan tillämpning: Materialet används för andra tillämpningar än cement och betong. (✓Ja/✗Nej)
- Prestandahöjning : Materialet förbättrar de flesta av betongens egenskaper ●
 Betongens egenskaper förändras enbart marginellt av materialet ●
 Där kunskap ännu saknas anges, na
- Behandling krävs: kan användas efter behandling; malning, värmebehandling, tvättad och eller homogeniserad (✓Ja/✗Nej)

Tabell 6. Jämförelse av olika bindemedel med avseende på ett antal bedömningskriterier.

Bindemedel	Global tillgänglighet	Teknisk mognadsgrad	Standardiseringsnivå	Certifiering	Kvalitetskontroll	Annan användning	Prestandaförbättring	Behandling krävs
Portlandcement	●	9	✓	✓	✓	✗		✗
GGBS	●	9	✓	✓	✓	✓	●	✓ ³
Kiselrik flygaska	●	9	✓	✓	✓	✓	●	✗
Silikastoft	●	9	✓	✓	✓	✓	●	✗
Kalkrik flygaska	●	9	✓	✓ ¹	✓	✓	●	✗
Naturliga puzzolaner (vulkaniska)	●	9	✗	✓ ¹	✓	✓	●	✓ ³
Filler av bergmaterial (kalksten, basalt)	●	9	✓	✓	✓	✓	●	✓ ³
Aktiverade leror	●	9	✓	✓	✓	✓	●	✓ ^{2,3}
Bottenaska från kolkraftverk	●	7	✗	✗	✗	✓	na	✓ ^{3,4}
Stålslagg	●	9	✗	✓ ¹	✓	✓	●	✓ ³
Icke järnhaltig metallurgisk slagg	●	4	✗	✗	✗	✗	●	✓ ³
Suevit (meteoritnedslag)	●	9	✗	✗	✓	✗	●	✓ ³
Flygaska från biomassa (skogsprodukter)	●	5	✗	✗	✗	✓	●	✓ ⁴
Bottenaska från biomassa (skogsprodukter)	●	5	✗	✗	✗	✓	na	✓ ^{3,4}
Aska från jordbruksprodukter	●	6	✗	✗	✗	✓	●	✓ ⁴
Flygaska från avfallsförbränning	●	5	✗	✗	✗	✓	na	✓ ⁴
Bottenaska från avfallsförbränning	●	5	✗	✗	✗	✓	na	✓ ^{3,4}
Gruvavfall	●	4	✗	✗	✗	✓	na	✓ ^{3,4}

na Inte tillgängligt

¹ Certifiering baserat på ETA eller nationell standard

² Värmebehandling

³ Malning

⁴ Tvättning/homogenisering

ANM: Betydelse av markeringar se text.

SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Betong används för att bygga komplicerade och viktiga byggnadsverk som bostadshus, kontors- och näringslivsfastigheter och infrastrukturanläggningar som broar och tunnlar. Dessa har höga samhällsvärden och har också en lång förväntad livslängd, ofta 100 år eller mer. Det är därför viktigt att dessa byggnadsverk byggs med välbeprövade och beständiga material. Portlandcement, med sina goda tekniska egenskaper, kommer att vara det mest använda bindemedlet inom över-skådlig tid. Men för att nå ett steg på vägen mot klimatneutral betong behöver alternativa binde-medel utvecklas och användas i större utsträckning, dock utan att försämra den tekniska prestandan hos betong. Introduktion av stora mängder nya material, till exempel nya alternativa bindemedel, bör göras med ett visst mått av försiktighet. Utvecklingen av nya material behöver göras med vetenskap som grund. Inget är vunnet om själva betongen kan göras klimatsmart men betong-

konstruktionen måste rivas och ersättas med en ny betydligt tidigare än vad som varit fallet om den byggts med en traditionell betong.

Enligt gällande regelverk och med de certifierade produkter som i dag finns på marknaden, GGBS, flygaska och silikastoft, finns det stora möjligheter att minska betongens CO₂-avtryck. CO₂-avtrycket kommer huvudsakligen från cementproduktionen och främst från bränning av kalksten och tillverkning av portlandcement. För att nå målet om klimatneutral cement krävs även satsningar på CCS-teknik (*Carbon Capture and Storage*) vilket skulle sänka CO₂-avtrycket för cementproduktionen betydligt då tekniken bygger på att fånga in processutsläppen. Kan man dessutom elektrifiera förbränningsprocessen minskar utsläppen av koldioxid vid cementproduktionen ytterligare. För att öka takten i klimatarbetet krävs en ökad användning av alternativa bindemedel och för det behövs det en ökad kunskap och generell acceptans av dessa material. Arkitekter, byggherrar, teknikkonsulter med flera som har en stor påverkan på betongens specifikationer behöver mer kunskap för att med detta som grund våga ställa andra och tuffare materialkrav.

Det finns möjligheter att introducera nya icke-standardiserade material på den svenska marknaden om en svensk standard tas fram och om regler för användning införs i SS 137003. Om de möjligheter som nuvarande standarder ger används fullt ut skulle mängden alternativa bindemedel som används i svenska byggprojekt kunna flerfaldigas med en betydande minskning av betongens CO₂-avtryck som följd. Frågan är om marknaden kan tillgodose de behov av alternativa bindemedel som uppstår om standardens möjligheter användes till fullo? Det faktum att de huvudsakliga alternativen i dag, flygaska och masugnsslagg, båda är material som det troligen kommer att bli brist på i närtid gör det nödvändigt att undersöka och tillämpa ytterligare material som är potentiellt lämpliga som alternativa bindemedel.

Att identifiera och utvärdera alternativa material för tillverkning av alternativa bindemedel innebär flera utmaningar. Det är viktigt att materialen finns i tillräckligt stora mängder och är tillgängliga, samt att de har rätt kemiska och fysikaliska egenskaper för att kunna användas som alternativa bindemedel i betong. De måste även uppvisa homogen kvalitet över tid. Nya alternativa bindemedel måste också fungera tillsammans med andra delmaterial i betong och bidra till att skapa en hållfasthet och beständighet som klarar den aktuella miljön betongen utsätts för. Många av dessa praktiska utmaningar kan större industrier hantera själv. Samtidigt finns ett behov av ett samlat forskningsprogram där de långsiktiga utmaningarna, som till exempel hur reaktiva de nya materialen är och hur beständiga de är i svenskt klimat, måste undersökas.

Möjligheten att certifiera nya produkter mot en produktstandard är av stor vikt för att på ett säkert sätt kunna implementera nya produkter. Sedan flera år har den europeiska kommissionen bromsat publiceringen av nya standarder för många redan färdiga standarder och EAD:er på grund av att de inte anses uppfylla kraven för cement och betong i Byggproduktförordningen. Detta innebär att nya material eller ändringar när det gäller befintliga material inte har kunnat introduceras. I ETA-systemet som var tänkt vara ett förhållandevis snabbt sätt att kunna sätta innovativa material på marknaden går det numera (hösten 2022) därför mycket trögt. Här krävs det politisk handlingskraft på Europainivå för att ta bort hinder för implementering av nya klimatsmarta material.

Det finns en hög ambition inom cement- och betongbranscherna att minska koldioxidutsläppen och det är flera aktörer inom byggbranschen som deklarerar att de enbart avser att använda klimatförbättrad betong med höga halter av alternativa bindemedel i nya projekt. Även om det används allt fler alternativa bindemedel i betong är det fortsatt på en relativt låg nivå. Användningen kan med stöd av befintliga standarder och regelverk flerfaldigas. Detta beror dels på att pågående projekt upphandlades för länge sedan då regelverket var mer restriktivt och intresset för klimatförbättrad betong var svalare, dels beror det troligen också på att tröskeln att introducera

nya material kan upplevas som hög. För att komma över denna tröskel är det viktigt att lyfta goda exempel där alternativa bindemedel används och sprida ”best practice”-lösningar så att även den klimatförbättrade betongen upplevs som välbeprövad och med liten ”risk”. Beställare av byggprojekt har här en mycket viktig roll för att implementeringen av klimatförbättrad betong ska få genomslag i svenska byggprojekt. Inhemsk produktion av cement och alternativa bindemedel är strategiskt viktig för hela samhällsbyggandet, också vid eventuella krissituationer. Därför behövs det en nationell plan för hantering av en robust försörjning av byggmaterial och dess klimatpåverkan. Tillgång till flera olika alternativa bindemedel kan minska samhällets känslighet för störningar i olika byggprocesser (avbrott i produktionen) och minska ekonomiska risker.

Utifrån det befintliga kunskapsläget som redovisats i rapporten ges följande rekommendationer (föreslagna aktörer är exempel på de som bedöms kunna ta sig an uppgifterna):

- Ge RISE i uppdrag att samla in kunskap och erfarenheter samt kommunicera goda exempel där alternativa bindemedel används och sprida ”best practice”-lösningar så att även den klimatförbättrade betongen upplevs som välfungerande.
- Utpeka ansvarig myndighet(er) att upprätta en nationell plan för hantering av en robust försörjning av bindemedel och byggmaterial samt dess påverkan på klimatarbetet och koppla till regionala materialförsörjningsplaner.
- Ge Sveriges geologiska undersökning i uppdrag att utreda möjligheter för inhemsk försörjning av leror lämpliga för bindemedelsframställning genom kartläggning och inventering av tillgångar i Sverige.
- Ge Sveriges geologiska undersökning i uppdrag att i samverkan med RISE och Naturvårdsverket utreda möjligheter och hinder till utvinning av alternativa bindemedel från restmaterial och avfall från gruvindustrin.
- Utreda var förekomster finns, importmöjligheter och logistikkedjor gällande lämpliga vulkaniska material, för snabbast möjliga tillgång till nya alternativa bindemedel i Sverige.
- Ge statliga forskningsfinansiärer i uppdrag att inledningsvis ta fram forskningsprogram och finansiera grundforskning inom cement, alternativa bindemedel och betong som kan främja innovationer och möjliggöra ny teknik.
- Ge efterföljande statliga forskningsfinansiärer i uppdrag att ta fram ett samlat forskningsprogram där de långsiktiga utmaningarna, till exempel hur beständiga nya material är i svenskt klimat kan undersökas. Hänsyn bör även tas till påverkan på människors hälsa och miljö.
- Ta fram forskningsutlysningar riktat mot utveckling av modifierade produktionsprocesser för att optimera och behandla restprodukter (bio-askor, avfall) så att de får bättre förutsättningar att möta de krav som ställs på delmaterial till betong.
- Investera i etablering och tillhandahållande av välutrustade testbäddar, såväl i laboratorier som i fält, där provningar kan genomföras för att verifiera kortsiktiga och långsiktiga egenskaper i godkännande av nya alternativa bindemedel. Säkerställa att en sådan anläggning är tillgänglig för alla aktörer, förslagsvis på RISE. En basfinansiering behöver säkras.
- Främja ett aktivt standardiseringsarbete för ökad framtagning av nationella och europeiska standarder för nya alternativa bindemedel. Svensk betong och RISE är viktiga aktörer i detta.
- Lyfta och behandla frågan kring hinder för implementering av nya alternativa bindemedel på europeisk nivå.
- Införa innovationsupphandlingar som en del i offentliga upphandlingar för att främja användning av klimatförbättrad betong (med större andel alternativa bindemedel).

Avslutningsvis gör vi inom uppdraget bedömningen att det i dag finns två potentiella kandidater till alternativa bindemedel som troligen kan introduceras i närtid, aktiverade leror och naturliga puzzolaner i form av vulkaniska askor. För att komma till användning behöver dessa materials

tekniska och kemiska egenskaper utvärderas och provas ytterst noggrant för att nationella eller europeiska standarder ska kunna tas fram.

Kaolinleror, som tillhör kategorin aktiverade leror, är potentiella råvaror för tillverkning av alternativa bindemedel. Förekomster har tidigare identifierats i södra Sverige men en mer detaljerad kunskap om förekomsternas utbredning, egenskaper, kvalitet med mera saknas. För att kunna utvärdera svenska kaolinlerors lämplighet och tillgång bör det göras en inventering och sammanställning av befintlig information, kompletterat med kartläggning och provtagning för utvärdering av tillgångarnas kvalitet och storlek. En inventering bör även undersöka möjligheter för utvinning och eventuella intressekonflikter, samt möjligheter till import.

Även andra lämpliga leror i Sverige, exempelvis illit, bör kartläggas och utredas. Detta innebär i första hand ett större kartläggningsarbete med närmare klassificering av de svenska lerorna, för utpekande av potentiella lämpliga material för användning som alternativa bindemedel.

REFERENSER

- Ahlberg, S.O. & Löfgren, E. (ed.), 2022: *Betong: material, konstruktion, åtgärder, skador, arkitektur, historia*. Hantverkslaboratoriet, Göteborgs universitet, Historisk betong, 258 s.
- Babaahmadi, A., Mueller, U., Plusquellec, G., Engdahl, M. & Erlström, M., 2019: *Calcined clays as supplementary cementitious materials: A feasibility study in Sweden*. 15th International Congress on the Chemistry of Cement 2019, 11 s.
- Bergsstaten, 2022a. Prospektering. <<https://www.sgu.se/bergsstaten/prospektering/>> åtkommen den 6 november 2022.
- Bergsstaten, 2022b. Från undersökningstillstånd till gruva. <<https://www.sgu.se/bergsstaten/lagstiftning/fran-undersokningstillstand-till-gruva/>> åtkommen den 31 oktober 2022.
- Brian, Q., 2011: *Steel-slag: a supplementary cementitious material and basis for energy saving cement*. Global Cement, s. 45–47.
- Bishnoi, S. (ed.), 2020: *Calcined Clays for Sustainable Concrete*. Proceedings of the 3rd International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete, Rilem Bookseries, Vol. 25, Springer, 859 s.
- Boverket, 2011a: Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder). Boverkets författningssamling, Senast ändrad i BFS 2022:4, 158 s.
- Boverket, 2011b: Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2011:19) om typgodkännande och tillverkningskontroll. Boverkets författningssamling, Senast ändrad med BFS 2013:6, 6 s.
- Bp Statistical Review of World Energy July, 2021: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/xlsx/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-all-data.xlsx>> åtkommen den 10 januari 2023.
- Byggfakta, 2022: <https://www.byggfakta.se/smart?gclid=EAIaIQobChMI6rj1vouf_AIVjJBoCR0tZgfXEAA YASAAEgJxRvD_BwE> åtkommen den 29 december 2022.
- Cambridge, 2022: Cambridge engineers invent world's first zero emissions cement. <<http://www.eng.cam.ac.uk/news/cambridge-engineers-invent-world-s-first-zero-emissions-cement>> åtkommen den 10 september 2022.
- Cementa, 2022: <<https://www.cementa.se/sv/ett-steg-narmare-en-klimatpositiv-cementfabrik-i-sverige>> åtkommen den 29 december 2022.

- Cementa, 2023: <<https://www.cementa.se/sv/foretagsfakta>> åtkommen den 10 januari 2023.
- CemNet, 2020: Calcined clays are redefining the cement sector, CemNet. <<https://www.cemnet.com/News/story/169777/calcined-clays-are-redefining-the-cement-sector.html>> åtkommen den 10 september 2022.
- CemNet, 2022: *The Global Cement ReportTM*, 14th Edition. Tradeship Publications Ltd, 372 s.
- CemWeek, 2021a: Global Demand for Ground Granulated Blast Furnace Slag to Reach 269 Million Tons By 2025, CemWeek. <<https://www.cwgrp.com/cemweek-features/533131-global-demand-for-ground-granulated-blast-furnace-slag-to-reach-269-million-tons-by-2025f>> åtkommen den 1 november 2022.
- CemWeek, 2021b: Average Global Slag Prices Continue Declining in the Second Quarter of 2021, CemWeek. <<https://www.cwgrp.com/cemweek-features/537686-average-global-slag-prices-continue-declining-in-the-second-quarter-of-2021>> åtkommen den 1 november 2022.
- Cho, B. H., Nam, B.H., An, J. & Youn, H., 2020: *Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Ashes as Construction Materials – a review*. Materials, volym 13, s. 1–30.
- Dansk Betonforening, 2019: GREEN CONCRETE II Presentation of the project and introduction to the new cement types developed, Cementir Holding. <https://www.danskbetonforening.dk/media/arrangement_2019/04_jesper_damtoft.pdf> åtkommen den 22 januari 2023.
- Erlström, M. & Pusch, R., 1987: Survey of Swedish buffer material candidates and methods for characterization. *SKB Teknisk rapport 1987:32*, 91 s.
- ESDAC, 2005: Soil Atlas of Europe, European Soil Data Centre. <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/Projects/Soil_Atlas/Download/Atlas.pdf> åtkommen den 22 januari 2023.
- EU, 2011: Europaparlamentets och Rådets förordning (EU) nr 305/2011 av den 9 mars 2011 om fastställande av harmoniserade villkor för saluföring av produkter och om upphävande av rådets direktiv 89/106/EG. Europeiska unionens officiella tidning, 2011, 39 s.
- Europeiska kommissionen, 2020: Study on the EU's list of critical raw materials, Factsheets on Non-Critical Raw Materials.
- Europeiska kommissionen, 2023: <https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf> åtkommen den 10 februari 2023.
- Europeiska kommissionen, 2023: <https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en#publications> åtkommen den 10 februari 2023.
- Fossilfritt Sverige, 2018a: Färdplan cement för ett klimatneutralt betongbyggande. *Fossilfritt Sverige rapport*, 20 s.
- Fossilfritt Sverige, 2018b: Färdplan för klimatneutral konkurrenskraft – Betongbranschen. *Fossilfritt Sverige rapport*, Betonginitiativet, 21 s.
- French, B.M., 1998: Traces of catastrophe: *A handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite Impact Structures*. LPI Contribution No. 954. Lunar and Planetary Institute, Houston, 120 s.
- FutureCem, 2022: FUTURECEM® – Low carbon cement technology, Cementir Holding. <<https://www.cementirholding.com/en/our-business/innovation/futurecem>> åtkommen den 22 januari 2023.
- Gollakota, A.R.K., Volli, V. & Shu, C.M., 2019: Progressive utilisation prospects of coal fly ash: A review. *Science of the Total Environment*, volume 672, s. 951–989.

- Gudmundsson, G., 2019: Ternary cements in Iceland.
<https://www.researchgate.net/publication/330912807_ITernary_cements_in_Iceland>, 6 s.
åtkommen den 9 februari 2023.
- Harish, B.A., 2015: The Mechanical Properties of Concrete Incorporating Silica Fume as Partial Replacement of Cement. *International Journal of Emerging Technologies and Advanced Engineering* 5, s. 270–275.
- Helsing, E., Malaga, K., Suchorzewski, J. & Gabrielsson, I., 2022: Klimatförbättrad betong för dricksvattenanläggningar. Svenskt Vatten Utveckling. *Rapport Nr 2022-5*, 101 s.
- Holm-Alwmark, S., 2021: Impact cratering record of Sweden – A review. In Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution VI, Special Paper. *Geological Society of America* 550, s. 1–39.
Doi: [https://doi.org/10.1130/2021.2550\(01\)](https://doi.org/10.1130/2021.2550(01)).
- IEA, 2009: Cement Technology Roadmap 2009 – Carbon emissions reductions up to 2050, 36 s.
- Játiva, A., Ruales, E. & Etxeberria, M., 2021: Volcanic Ash as a Sustainable Binder Material: An Extensive Review. *Materials* 2021:14(5), s. 1302–1332. Doi: 10.3390/ma14051302.
- Jelinek, C. & Eliasson, T., 2015: Strålning från bergmaterial. *SGU-rapport 2015:34*. Sveriges geologiska undersökning, 26 s.
- Jernkontoret, 2023: <<https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/restprodukter/slagg/>> åtkommen den 10 januari 2023.
- Juenger, M., Provis, J.L., Elsen, J., Matthes, W., Hooton, R.D., Duchesne, J., Courard, L., He, H., Michel, F., Snellings, R. & Nele De Belie, N.D., 2012: Supplementary Cementitious Materials for Concrete: Characterization Needs. *Materials Research Society symposia proceedings, Vol. 1488, Materials Research Society* 2012, 16 s.
- Kockum, P.F., Loorents, K.J. & Lindgren, Å., 2015: Hantering för sulfidförande bergarter. *Trafikverket* 2015:057, 51 s.
- Lagerblad, B., Westerholm, M., Fjällberg L. & Gram, H-E., 2008: Berg-krossmaterial som ballast i betong. *CBI-rapport nr 1:2008*. CBI Betonginstitutet, Stockholm, 121 s.
- Locher, F.W., 2006: Cement: Principles of production and use. Verlag Bau + Technik GmbH, 30 s. ISBN 3-7640-0559-7.
- Löfgren, I., 2021: Betydelsen av betongens koldioxidupptag ur ett livscykelperspektiv. *Husbyggaren nr 1*, s. 27–31.
- Malaga, K., Helsing, E. & Utgenannt, P., 2022: Kartläggning av befintlig provverksamhet för cement och betong i Sverige och bedömning av provningsbehov vid introduktion av nya cement. *RISE Rapport 2022:12*. RISE, 60 s.
- Miškovský, K., Bida, J., Arvidsson, H., Göransson, M., Andersson, J., Lövgren, L. & Johansson, E., 2022: Utveckling av effektiva och relevanta metoder för bedömning av bergmaterial innehållande metallförande sulfidmineral. *Slutrapport R41912:00-04*. Envix, 96 s.
- Mortensen, G.M. & Göransson, M., 2018: Bergkvalitet Skåne – beskrivning till bergkvalitetskarter över delar av Söderåsen, Kristianstadsområdet, Linderödsåsen och Romeleåsen. *Sveriges geologiska undersökning K 623*, 49 s.
- Mortensen, G.M., Lindgren, P. & Göransson, M., 2020: Beskrivning till bergkvalitetskarter. Bergkvalitet Mälardalen – kommunerna Strängnäs, Eskilstuna, Västerås, Hallstahammar, Kungsör, Köping och del av Sala. *Sveriges geologiska undersökning K 647*, 41 s.
- Mortensen, G.M. & Sopher, D., 2021: Geologisk lagring av koldioxid i Sverige och i grannländer – status och utveckling. *Rapportering av regeringsuppdrag. RR 2021:04*, Sveriges geologiska undersökning, 50 s.
- Mueller, U., Plusquellec, G. & Malaga, K., 2021: Potential for use of activated clays in concrete in Sweden – Roadmap. *RISE Rapport 2021:110*, 41 s.

- Nagi, A. & Jang, J.G., 2019: Recent Progress in Green Cement Technology Utilizing Low-Carbon Emission Fuels and Raw Materials: A Review. *Sustainability* 11, s. 537–554.
<https://doi.org/10.3390/su11020537>
- Nature, 2021: Concrete needs to lose its colossal carbon footprint. *Nature* 2021:597.
<https://doi.org/10.1038/d41586-021-02612-5>, s. 593–594.
- Naturvårdsverket, 2020: Att göra mer med mindre – Nationell avfallsplan och avfallsföregångande program 2018–2023. *Rapport nr. 6946*, 158 s.
- Naturvårdsverket, 2021: Avfall som resurs. *Redovisning av regeringsuppdrag. NV-00196-21*, 92 s.
- Naturvårdsverket, 2022a: Nya regler för avfallshantering och återvinning – från avfall till resurs.
 <<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avfall/hander-pa-området/nya-regler-for-avfallshantering-och-atervinning--fran-avfall-till-resurs/>> åtkommen den 6 november 2022.
- Naturvårdsverket, 2022b: Industriutsläppsdirektivet (IED)
 <<https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/industriutslapp-ied/industriutslappsdirektivet-ied/#E1884406698>> åtkommen den 28 november 2022.
- Naturvårdsverket, 2022c: EU-kommissionens förslag till ett reviderat industriutsläppsdirektiv.
 <<https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/industriutslapp-ied/industriutslappsdirektivet-ied/eu-kommissionens-forslag-till-reviderat-industriutslappsdirektiv/>> åtkommen den 9 januari 2023.
- se även Yttrande över EU-kommissionens förslag till industriutsläppsportalsförordning och reviderat industriutsläppsdirektiv KOM (2022) 157 och KOM (2022) 15, Miljödepartementets diarienummer M2022/00853. Naturvårdsverkets yttrande den 30 juni 2022, Naturvårdsverkets diarienummer NV-04850-22.
- Naturvårdsverket, 2022d: Avfall eller biprodukt. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/avfall-eller-biprodukt?_t_hit.id=Boilerplate_Epserver_Features_EpserverFind_Models_EpserverFindDocument/3365_sv&_t_q=avfall%20biprodukt&_t_id=Y18P7mM9qUPW10QmeaQDRw%3d%3d&_t_tags=siteid:69c7ea6e-2b02-4832-8c8c-31da973f12f1&_t_tags=language:sv#E528529434> åtkommen den 15 december 2022.
- Naturvårdsverket, 2022e: Gränsöverskridande avfallstransporter.
 <<https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/avfallstransporter-gransoverskridande/avfallstransporter-gransoverskridande/>> åtkommen den 1 november 2022.
- Naturvårdsverket, 2022f: Avfallshierarkin visar stegen vi behöver ta.
 <<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avfall/pagaende-arbeten/avfallshierarkin-visar-stegen-vi-behoover-ta/>> åtkommen den 12 december 2022.
- Naturvårdsverket, 2022g: Avfall i Sverige 2020. *Rapport nr. 7048*, 48 s.
- se även Pressmeddelande 2022-06-15: Fortsatt ökande avfallsmängder och minskad materialåtervinning. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/aktuellt/nyheter-och-pressmeddelanden/fortsatt-okande-avfallsmangder-och-minskad-materialatervinning?_t_hit.id=Boilerplate_Epserver_Features_EpserverFind_Models_EpserverFindDocument/35182_sv&_t_q=Material%C3%A5tervinning> åtkommen den 31 oktober 2022.
- Naturvårdsverket, 2022h: Bedömning av när avfall upphör att vara avfall.
 <<https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/bedomning-av-nar-avfall-upphor-att-vara-avfall/#:~:text=Avfall%20kan%20upph%C3%B6ra%20att%20vara%20avfall%20n%C3%A4r%20avfallet,eller%20genom%20en%20bed%C3%B6mning%20i%20det%20enskilda%20fallet>> åtkommen den 21 december 2022.

- Naturvårdsverket, 2022i: Ny statistik om handläggningstiden för tillståndsprövning av miljöfarlig verksamhet. Pressmeddelande 2022-05-13. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/aktuellt/nyheter-och-pressmeddelanden/ny-statistik-om-handlaggningstiden-for-tillstandsprovning-av-miljofarlig-verksamhet?_t_hit.id=Boilerplate_Episerver_Features_EpiserverFind_Models_EpiserverFind_Document/34185_sv&_t_q=pr%C3%B6vningsprocesser&_t_id=XWZPpwBaCdzS2SbnL2KIeQ%3d%3d&_t_tags=siteid:69c7ea6e-2b02-4832-8c8c-31da973f12f1&_t_tags=language:sv> åtkommen den 21 december.
- Naturvårdsverket, 2022j: Gruvor – provningsärenden. <<https://www.naturvardsverket.se/lagar-och-regler/provningsarenden/gruvor/>> åtkommen den 21 oktober 2022.
- Naturvårdsverket, 2022k: Gruvor. <<https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/branscher-och-verksamheter/gruvor/>> åtkommen den 3 november 2022.
- Naturvårdsverket, 2022l: Gruvor, miljö- och tillståndsprövning. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/branscher-och-verksamheter/gruvor/miljo--och-tillstandsprovning/> åtkommen den 31 oktober 2022.
- Naturvårdsverket, 2022m: Täkter. <<https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/branscher-och-verksamheter/takter/>> åtkommen den 3 november 2022.
- Naturvårdsverket 2022n: Industrins klimatomställning. Underlagsrapport till regeringsuppdraget Näringslivets klimatomställning, *Rapport 7045*, april 2022, 155 s.
- Plusquellec, G., Babaahmadi, A., L'Hopital, E. & Mueller, U., 2021: Activated clays as supplementary cementitious material. *RISE Rapport 2021:25*, 72 s.
- Pädam, S., Balian, D., Uppenberg, S. & Wadström, E., 2021: Klimatneutral betong genom kravställning, Hinder och möjligheter. *Naturvårdsverkets Rapport 6967*, 49 s.
- Ragn-Sells, 2022: <<https://www.ragnsells.se/om-oss/nyheter--press/inspireras/ash2salt/>> åtkommen den 10 september 2022.
- Sadagopan, M., 2021: Recycling of concrete in new structural concrete. Doktorsavhandling, Högskolan i Borås, 64 s.
- Schoning, K. & Mortensen, G.M., 2021: Förutsättningar för hållbar ballastförsörjning i Skåne län. *SGU-rapport 2021:01*. Sveriges geologiska undersökning, 21 s.
- Scrivener, K., John, V.M. & Gartner, E.M., 2018: Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research, volume 114*, s. 2–26.
- Selander, A., Gil Berrocal, C., Löfgren, I., Sandelin, S. & Malaga, K., 2022: Karbonatisering – En förbisedd koldioxidsänka. *RISE Rapport 2022:108*, 32 s.
- SGU, 2016: Vägledning för provning av gruvverksamhet. *SGU-rapport 2016:23*. Sveriges geologiska undersökning, 94 s. Dnr 311-1808/2014.
- SGU, 2018a: Berggrund 50 000–250 000 (visningstjänst) – databas. Hela Sverige. Åtkommen den 1 juni 2022.
- SGU, 2018b: Berggrund 50 000–250 000 (visningstjänst) – databas. Skåne. Åtkommen den 29 juni 2022).
- SGU, 2020a: Jordarter 25 000–100 000 – databas. Hela Sverige. Åtkommen den 29 juni 2022. En interaktiv karta är även tillgänglig via SGU:s kartvisare: <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jordarter-25-100.html>
- SGU, 2020b: Jordarter 25 000–100 000 – databas. Skåne, Blekinge. Åtkommen den 29 juni 2022.
- SGU, 2020c: Malmer och anrikningsverk – databas. Hela Sverige. Åtkommen den 1 juni 2022).
- SGU, 2021: Grus, sand och krossberg 2020. *Periodiska publikationer 2021:3*. Sveriges geologiska undersökning, 41 s.

- Sika, 2022: RECO₂VER CONCRETE RECYCLING – A Ground-Breaking New Process by Sika. <<https://www.sika.com/en/knowledge-hub/reco2ver-concrete-recycling.html>> åtkommen den 10 september 2022.
- Snelling, R., Mertens, G. & Elsen, J., 2012: Supplementary Cementitious Materials. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry, Volume 74*, 69 s.
- Strippel, H., Sternhufvud, C. & Skårman, T., 2005: Utredning om möjligheterna att minska utsläppen av fossil koldioxid från mineralindustrin. *IVL Rapport B1651*, 93 s.
- Svensk betong, 2022: Vägledning Klimatförbättrad betong. *Svensk betong, Utgåva 2*, 24 s.
- Svensk betong, 2023: <https://www.svenskbetong.se/images/Betongindikatorn/2021/Betongindikatorn_resultat_2020_-_hel%C3%A5r.pdf> åtkommen den 25 januari 2023.
- Svensk Byggtjänst, 2021: Betonghandbok Material. Del 1 och 2. Svensk Byggtjänst, 1623 s.
- Svenska Betongföreningen, 2020: ASR i svensk betong – vägledning för nya och befintliga konstruktioner. *Betongrapport nr 18, utgåva 1*, 228 s.
- Transportstyrelsen, 2018: Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av eurokoder. *Transportstyrelsens författningssamling, TSFS 2018:57*, 93 s.
- Trägårdh, J., 2019: Hållbart samhällsbyggande med beständig betong. Svenska Betongföreningen, *Betongrapport 18*, 228 s.
- Turner, L.K. & Collins, F.G., 2013: Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete. *Construction and Building Materials, vol. 43*, s. 125–130.
- U.S. Department of Transportation, 2017: Fly Ash Facts for Highway Engineers, U.S. Department of Transportation. <<https://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/fach01.cfm>> åtkommen den 1 september 2022.
- VINNOVA 2022: <<https://www.vinnova.se/p/betcrete-2.0-klimatneutral-cement--och-betongindustri/>> åtkommen 20 december 2022.
- Zhai, J., Burke, I.T. & Stewart, D.I., 2021: Beneficial management of biomass combustion ashes. *Renewables and Sustainable Energy Reviews, Volume 151*, 18 s.

BILAGA 1. INTERVJUFRÅGOR TILL REFERENSGRUPPMEDLEMMAR

I syfte att ta del av kunskap och erfarenheter från bransch och akademi genomfördes åtta enskilda intervjuer med referensgruppens medlemmar.

Referensgruppen utgör en bred sammansättning av representanter från bransch och akademi. En kort introduktion till dessa ges härunder. Information kommer från respektive webbplatser.

Umeå universitet (UMU) representerad av Centrum för hållbar produktion av cement och bränd kalk som sammanfogar forskningsmiljö med svenska industriella aktörer inom cement- och kalkproduktion.

Chalmers tekniska högskola representerad av Institutionen för rymd-, geo- och miljövetenskap, avdelning Energiteknik, som bland annat har forskning inriktad på åtgärder för att minska klimatpåverkan från energisystemet.

Statens geotekniska institut (SGI) representerad av avdelningen Effektivare markbyggande som bedriver forskning och utveckling som bidrar till ett effektivt och säkert byggande av transportinfrastruktur och bostäder.

Svensk betong är en branschorganisation för företag som tillverkar fabriksbetong, utöver betongpumpning, samt företag som tillverkar och/eller monterar betongprodukter.

Sveriges bergmaterialindustri (SBMI) är en branschorganisation för producenter och leverantörer av bergmaterial samt de företag som på annat sätt arbetar i branschen.

Jernkontoret är den svenska järn- och stålindustrins branschorganisation.

Skanska är ett multinationellt bygg- och projektutvecklingsföretag.

Thomas Concrete Group är en koncern som producerar och distribuerar fabriksbetong.

Intervjuerna som genomfördes under våren 2022 utgick från ett antal fördefinierade frågor som finns listade nedan och det gavs även möjlighet för egna funderingar och synpunkter.

Inledande frågor

Vilka är de viktigaste målfrågorna som ni anser att SGU:s uppdrag ska besvara?

Vilket syfte ser ni med att delta i det här referensgruppsarbetet?

Allmänna frågor

Vilka alternativa bindemedel till cement använder ert företag idag?

Ungefär hur stora volymer använder ni per år?

Vilka egna erfarenheter har ni med ersättningsmaterial till cement (alternativa bindemedel)?

Det finns olika källor till alternativa bindemedel som slagg, askor m.m. Var får ni era alternativa bindemedel ifrån?

Vilka möjligheter och begränsningar ser ni med ersättningsmaterial till cement?

Har ni arbetat med ett alternativt material som inte har fungerat?

Ser ni några möjliga framtida ersättningsmaterial till cement som ännu inte har utvärderats eller forskats i?

Vad krävs för att vi ska lyckas med ersättningsmaterial till cement?

Samarbeten

Har ni pågående samarbeten med andra aktörer avseende alternativa bindemedel?

Vad är er erfarenhet av detta?

Framtida samarbeten?

Tekniska frågor

I samband med tillverkning av en betong där alternativa bindemedel ingår, finns det några tekniska utmaningar i samband med produktionsprocessen?

Vad krävs för att minska cementmängden i betong jmf med mängden som används i dag?

Hinder

Vilka är de största hindren för att uppnå en ökad användning eller återanvändning av alternativa bindemedel?

Vilken kravställning på alternativa material bör enligt er finnas, för att dessa material ska kunna vara intressanta att använda istället för traditionella bindemedel?

Är införandet av *End of Waste*-kriterier för restmaterial en möjlighet att öka återanvändningen av alternativa bindemedel?

Vad krävs för att använda mer material från deponi/avfallshögar? Finns det hinder?

Import

Ser ni möjligheter för att minska den cementmängd/-andel som används i dag, jmf med andra länders mindre användning?

Införskaffar ni alternativa bindemedel från andra länder?

Finns det särskilda utmaningar, möjligheter eller hinder med alternativa bindemedel från andra länder?

Om ni importerar material, gör ni detta på grund av priset, tillgången eller på grund av att det saknas i Sverige?

Vad är er erfarenhet avseende eventuella skillnader gällande regelverk för alternativa bindemedel mellan olika länder?

Avslut

Är det någonting annat ni vill tillägga om alternativa bindemedel?

BILAGA 2. STANDARDISERING OCH KVALITETSSÄKRING AV BINDEMEDEL

Vad är en standard och hur gäller den?

Standarder kan utarbetas av det internationella standardiseringsorganet ISO (*International Organization of Standardisation*), det europeiska standardiseringsorganet CEN (*European Committee for Standardisation*), eller nationella standardiseringsorgan, i Sverige SIS (Svenska Institutet för Standarder). Dessa är de organ som ger ut standarder på byggområdet. Det finns andra internationella och europeiska standardiseringsorgan för andra ämnesområden, som exempelvis CENELEC på elektronikområdet. De flesta länderna har egna nationella standardiseringsorgan, vilka i sin tur är medlemmar och deltar i utarbetandet av standarder inom de internationella och europeiska standardiseringsorganisationerna.

En standard är en branschöverenskommelse och den är i princip alltid frivillig. Den kan bara göras bindande genom att någon hänvisar till den i ett bindande dokument, till exempel i en myndighetsföreskrift eller i kontrakt vid upphandling av byggnadsprojekt. Hänvisas det inte till en standard i något bindande dokument kan de ses som handböcker eller dokumenterad ”best practice”.

Förekommande typer av produktstandarder och produktgodkännanden i Sverige

Genom överenskommelse inom CEN måste alla EN-standarder ges ut som svenska standarder med beteckningen SS-EN före standardnumret av SIS. När det gäller ISO-standarder kan SIS välja att ge ut standarden som en svensk standard SS-ISO eller inte. Svenska standarder utarbetas av SIS och ges ut som SS-standarder (som till exempel SS 137003). Det finns även standarder som getts ut gemensamt av ISO och CEN, vilka om de ges ut i Sverige får beteckningen SS-EN-ISO före standardnumret.

Ett särfall där speciella regler gäller inom Europa är det som kallas harmoniserade standarder. Harmoniserade standarder är produktstandarder som utgör grund för CE-märkning av produkter, och utarbetas av CEN på uppdrag (mandat) av EU. EU har bestämt för vilka produkter harmoniserade standarder ska ges ut och även vilket system för att kvalitetssäkra produkternas prestanda som ska användas vid tillverkningen. Enligt EU:s Byggproduktförordning (EU 2011), är CE-märkning av produkter som omfattas av harmoniserade standarder obligatoriskt för att kunna sätta produkten på marknaden inom EU.

Enligt Byggproduktförordningen finns det ett europeiskt harmoniserat system för hur byggprodukter ska bedömas och hur de ska kontrolleras, detta kallas AVCP (*Assessment and Verification of Constancy of Performance*). I AVCP-systemet finns fem olika klasser, 1+, 1, 2+, 3 och 4, som föreskriver hur kvalitetskontrollen ska gå till. AVCP 1+ definierar de högsta kraven och AVCP 4 de lägsta. Vilken klass som ska tillämpas för en produktgrupp har beslutats på EU-nivå. Cement och andra bindemedel är en av de få byggproduktgrupper som har ålagts den högsta klassen AVCP 1+. Systemen beskrivs i en bilaga till EU:s byggproduktförordning. AVCP-systemen talar om hur en produkt ska kontrolleras och av vem (fabrikskontroll eller externt av ett anmält organ, vilket motsvarar ett ackrediterat certifieringsorgan. De tekniska detaljerna för genomförandet av AVCP anges i standarderna.

Utöver harmoniserade standarder kan CE-märkning ske baserat på ett Europeiskt Tekniskt Godkännande, ETA (*European Technical Assessment*). I det fallet är den tekniska specifikationen inte en harmoniserad EN-standard utan utgör ett europeiskt bedömningsdokument, en EAD (*European Assessment Document*), vilken utfärdas av EOTA (*European Organization for Technical Assessment*). Detta spår är avsett för produkter som inte omfattas av eller uppfyller kraven i de harmoniserade standarderna, till exempel för nya och innovativa produkter. En EAD utarbetas på en tillverkares

begäran och anpassas till dennes produkt. När det gäller krav på provning och nivå på kontrollen följer man där det går reglerna för liknande produkter i harmoniserade standarder. En nackdel med en ETA är att den oftast utarbetats för en speciell marknad, och inte alltid tar upp egenskaper som krävs i andra länder. Det kan till exempel saknas uppgifter om frostbeständighet.

För att bli gällande som harmoniserade standarder eller EAD:er måste de kungöras av den Europeiska Kommissionen i EU:s *Official Journal*. Sedan flera år har Kommissionen bromsat denna publicering för många redan färdiga standarder och EAD:er på grund av att de inte anses uppfylla kraven i Byggproduktförordningen. Detta innebär att nya material eller ändringar när det gäller befintliga material inte har kunnat introduceras på marknaden. I ETA-systemet, som var tänkt att vara ett förhållandevis snabbt sätt att kunna sätta innovativa material på marknaden, går det nu (hösten 2022) därför mycket trögt.

Harmoniserade standarder för bindemedel:

- cementstandarden SS-EN 197-1
- flygaskestandarden SS-EN 450-1
- GGBS-standarden SS-EN 15167-1
- silikastoftstandarden SS-EN 13263-1

vilket innebär att de måste CE-märkas.

Cementstandarden SS-EN 197-5 och silikakalciumstoftstandarden SS-EN 16622 är i dagsläget inte harmoniserade och dessa produkter kan därför inte CE-märkas.

Utgivna EAD för cement för användning som bindemedel i betongkonstruktioner:

- EAD 150003-00-0301 High strength cement
- EAD 150008-00-0301 Rapid setting cement
- EAD 150009-00-0301 Blast furnace cement CEM III/A with assessment of sulfate resistance (SR) and optional with low effective alkali content (LA) and/or low heat of hydration (LH).

Utgivna EAD för tillsatsmaterial typ II i betong:

- EAD 260009-00-0301 Processed bottom ash from municipal solid waste incinerators as Type II addition for production of concrete, mortar and grout
- EAD 2600014-00-0301 Calcined layer silicate based type II addition
- EAD 2600020-00-0301 Calcium carbonate fine as active addition with catalytic binding performance for concrete
- EAD 2600035-00-0301 Natural calcined pozzolana as type II addition for concrete.

Därutöver finns det tre EAD för cement för speciella tillämpningar.

Alla övriga produktstandarder, ISO- EN- och SS-standarder, är helt frivilliga och innehåller inga regler om vem som ska kontrollera att produkterna uppfyller standardens krav. Kvalitetssäkring av dessa sker enligt de regler som gäller i det land de marknadsförs och används.

Kvalitetssäkring av bindemedel

Bindemedel som kan CE-märkas

Byggmaterial och byggprodukter kvalitetssäkras på liknande sätt som många andra industriellt tillverkade produkter. När det gäller delmaterial till betong, som cement, tillsatsmaterial (exempelvis alternativa bindemedel), vissa kemiska tillsatsmedel, ballast med mera är kvalitetskontrollen och övervakningen omfattande vilket beror på att betong används för att tillverka bärande konstruktioner. Byggs betongkonstruktioner av undermålig kvalitet riskeras liv och hälsa.

Livslängden för de flesta betongkonstruktioner är 50 år eller mer och för anläggningskonstruktioner som broar är livslängden ofta 100 år eller mer. Kvalitetssäkring av delmaterialen och av betongen är viktiga åtgärder för att säkerställa lång livslängd och rätt beständighet och bärförmåga. För att uppnå en lång livslängd på ett byggnadsverk ska alla byggnadsmaterial vara kvalitetskontrollerade och det ska vara dimensionerat enligt gällande regelverk, vilket innebär att dess bärförmåga och stadga ska ha verifierats genom beräkning. För att uppnå avsedd livslängd är det också viktigt att lämpliga övervaknings- och underhållsrutiner implementeras.

När det gäller de produkter som omfattas av de harmoniserade standarderna eller ETA, och om dessa produkter kan CE-märkas, ska det AVCP-system som bestämts för produkten i fråga tillämpas. För cement och alternativa bindemedel gäller det mest krävande systemet, AVCP 1+.

I AVCP 1+ ingår följande moment:

Tillverkaren ska utföra:

- tillverkningskontroll i fabrik
- ytterligare provning via stickprov (som tas ut av det anmälda produktcertifieringsorganet).

Ett anmält produktcertifieringsorgan ska utföra:

- en bedömning av byggproduktens prestanda på grundval av provning, beräkning, tabellerade värden eller beskrivande dokumentation av produkten
- en första besiktning av tillverkningsanläggningen och tillverkningskontrollen i fabrik
- fortlöpande övervakning, bedömning och utvärdering av tillverkningskontrollen i fabrik
- revisionsprovning av stickprov som tas ut av anmälda produktcertifieringsorganet i tillverkningsanläggningen eller i lagret.

I tillverkningskontrollen ska alla egenskaper hos slutprodukten för vilka det finns krav provas med de frekvenser som anges i den aktuella produktstandarden. Under rutinförhållanden varierar provningsfrekvensen för de olika bindemedlen och egenskaperna mellan två gånger per vecka till en gång per månad. I inledningsskedet av produktion av en ny produkt är frekvensen normalt fördubblad.

Kontroll av egenskaper hos råmaterial (kontrolleras i tillverkningskontrollen enligt rutiner som fastlagts i tillverkarens kvalitetsmanual). Att kontrollera rutiner och deras genomförande i fabriken ingår i det anmälda produktcertifieringsorganets uppgifter.

Specificering av uppgifterna för det anmälda produktcertifieringsorganet framgår av en Del 2 till samtliga produktstandarden; SS-EN 197-2, SS-EN 450-2, SS-EN 15167-2 och SS-EN 13263-2 och av EAD för produkter med ETA. Där anges bland annat för bindemedel att uttag av stickprov och revisionsprovning utförs sex gånger per år, fabriken och dess tillverkningskontroll inspekteras en gång per år och fabriken tillverkningskontroll och stickproven utvärderas två gånger per år.

När alla krav uppfyllts utfärdar det anmälda certifieringsorganet ett så kallat *Intyg och kontinuitet* av produktens prestanda.

Tillverkaren kan sedan CE-märka sin produkt och ska tillhandhålla en prestandadeklARATION där produktens egenskaper anges.

Bindemedel som inte kan CE-märkas

Produkter som inte omfattas av harmoniserade standarder eller EAD kan i Sverige kvalitetssäkras genom frivillig produktcertifiering av ett ackrediterat certifieringsorgan mot en teknisk specifikation som exempelvis kan vara en icke-harmoniserad standard eller också kan de typgodkännas av ett

Typgodkännandeorgan. Enligt gällande myndighetsföreskrifter (Boverket 2011a, Transportstyrelsen 2018) för byggnadsverk måste produkter som varken CE-märkts, produktcertifierats eller typgodkänts genomgå omfattande provningar innan de används i byggnadsverk. Ansvaret för att detta utförs ligger på byggherren, det vill säga den som uppför eller låter uppföra ett byggnadsverk åt sig. För att undvika detta kräver de flesta byggherrar att de byggprodukter som används i deras byggen har någon typ av certifiering.

Vid en certifiering av ett ackrediterat produktcertifieringsorgan av ett bindemedel tillämpas i princip samma nivå på certifieringen som om produkten hade varit harmoniserad, alltså ett system som motsvarar AVCP 1+ för CE-märkta produkter (se ovan). Det ackrediterade produktcertifieringsorganet kan vara svenskt eller utländskt.

I dagsläget måste alltså exempelvis en cement enligt SS-EN 197-5 och kalciumsilikastoft enligt SS-EN 16622 produktcertifieras på detta sätt.

Om en produkt kan CE-märkas, det vill säga om det finns en harmoniserad standard eller någon EAD som den omfattas av, får den inte produktcertifieras eller typgodkännas.

Typgodkännande är ett helt svenskt certifieringssystem, för vilka Boverket har gett ut särskilda regler (Boverket 2011b). Ett ackrediterat typgodkännandeorgan anger kvalitetsäkringsregler och övervakar tillverkningen av de produkter de typgodkänner.

Vad innebär CE-märkning, produktcertifiering och typgodkännande?

CE-märkning och produktcertifiering är ingen egentlig kvalitetsgaranti, det är en varudeklaration som talar om vilka egenskaper en produkt har. De klargör inte om produkten är godkänd för användning i den ena eller den andra tillämpningen. Den som ska använda produkten i ett byggnadsverk ska dock lita på att de egenskaper som deklarerats hos en CE-märkt eller produktcertifierad produkt stämmer, och kan via prestandadeklarationen kontrollera om den uppfyller de krav som ställs för den aktuella tillämpningen, i myndighetsföreskrifter eller som anges av byggherren/beställaren vid upphandling.

När det gäller ett typgodkännande, ska användningsområdet för produkten anges och typgodkännandeorganet ska kontrollera om produkten uppfyller kraven för denna användning i byggnadsverk i Sverige.

Produktstandarder för bindemedel som inte är EN-standarder

Standarder utgivna av ASTM International som är en internationell USA-baserad standardiseringsorganisation

ASTM C150/C150M-21 – *Standard Specification for Portland Cement*. Denna standard behandlar 10 typer av portlandcement, indelade med avseende på värmeutveckling, sulfatresistens, tidig hållfasthetsutveckling och innehåll av luftporbildare.

ASTM C595/C595M-21 – *Standard Specification for Blended Hydraulic Cements*. Denna standard behandlar blandcement med slagg, puzzolaner och kalksten. Indelas efter funktion med avseende på värmeutveckling, sulfatresistens, tidig hållfasthetsutveckling och innehåll av luftporbildare.

ASTM C618-19 – *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. I denna standard benämns den kiselrika flygaskan Class F och den kalkrika flygaskan Class C.

ASTM C989/C989M-18a – *Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars*.

ASTM C1240-20 – *Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures*.

ASTM C1697-18 – *Standard Specification for Blended Supplementary Cementitious Materials*. Denna standard omfattar blandning eller sammalning av två eller tre slaggar, naturliga puzzolaner, kalkrik flygaska och silikastoft

Standard utgiven av den internationella standardiseringsorganisationen ISO

ISO 22904:2020 – *Additions for concrete*. Standarden specificerar krav på kiselrik flygaska, GGBS och silikastoft för användning som reaktivt tillsatsmaterial i betong.

Standarder utgivna av British Standards, BS

BS 8615-1:2019 – *Specification for pozzolanic materials for use with Portland cement. Part 1: Natural pozzolana and natural calcined pozzolana*.

BS 8615-2:2019 – *Specification for pozzolanic materials for use with Portland cement. Part 2: High reactivity natural calcined pozzolana*.

BILAGA 3. KÄLLFÖRTECKNING FÖR DE STANDARDER SOM BESKRIVS I RAPPORTEN

Beteckning i texten	Standardbeteckning och namn (Svensk Byggtjänst 2021)
SS-EN 197-1	SS-EN 197-1:2011, Cement – Del 1: Sammansättning och fordringar för ordinära cement
SS-EN 197-2	SS-EN 197-1:2020, Cement – Del 2: Bedömning och fortlöpande kontroll av prestanda
SS-EN 206	SS-EN 206:2013+A2:2021 Betong – Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse
SS-EN 450-1	SS-EN 450-1:2012 Flygaska för betong – Del 1: Definition, specifikationer och kriterier för överensstämmelse
SS-EN 450-2	SS-EN 450-2:2012 Flygaska för betong – Del 2: Utvärdering av överensstämmelse
SS-EN 12620	SS-EN 12620+A1:2008 Ballast för betong
SS-EN 13263-1	SS-EN 13263-1:2005+A1:2009 Silikastoft till betong – Del 1: Definitioner, krav samt kriterier för överensstämmelse
SS-EN 13263-2	SS-EN 13263-2:2005+a1:2009 Silikastoft till betong – Del 2: Utvärdering av överensstämmelse
SS-EN 14647	SS-EN 14647:2005 Kalciumaluminatcement – Sammansättning, specifikation och kriterier för överensstämmelse
SS-EN 15167-1	SS-EN 15167-1:2006 Mald granulerad masugnsslagg för användning i betong, bruk och injekteringsbruk – Del 1: Definitioner, specifikation och kriterier för överensstämmelse
SS-EN 15167-2	SS-EN 15167-2:2006 Mald granulerad masugnsslagg för användning i betong, bruk och injekteringsbruk – Del 2: Utvärdering av överensstämmelse
SS-EN 16622	SS-EN 16622:2015 Silikakalciumstoft för betong – Definitioner, krav och kriterier för överensstämmelse
SS 137003	SS 137003:2021 Betong - Användning av SS-EN 206:2013 + A2:2021 i Sverige (Första utgåvan gavs ut 2001)