

Nytt cement med gynnsam miljöprofil

Dagens cement för konstruktionsändamål baseras på portlandklinker. Utgångsmaterialet är kalksten som bränns vid hög temperatur i cementugn. Processen är energikrävande samtidigt som stora mängder koldioxid drivs ut ur kalkstenen och ur bränslet. Koldioxidutsläppet från världens totala cementproduktion anses uppgå till cirka fem procent av alla koldioxidutsläpp globalt.

Förra året presenterade en grupp engelska forskare vid Imperial College i London ett cement, som inte enbart var koldioxidneutralt, utan som faktiskt hade potential att absorbera koldioxid under produktionen. Cementet, som baserades på magnesiumhaltigt råmaterial, hade döpts till Novacem. Forskarna hävdade att det nya cementet hade teknisk och ekonomisk potential att ersätta dagens cement.

Det nya cementet fick betydande uppmärksamhet i svensk press. Det ansågs angeläget att närmare studera cementet i olika avseenden, till exempel när det gäller cementproduktionsteknik och användning i betong. Ett SBUF-projekt med syfte att utvärdera det nya cementet initierades därför av Skanska. Resultatet av utredningen har presenterats i en rapport från Lunds tekniska högskola [1]. Denna artikel är en sammanfattning av rapporten. Artikeln inleds med en presentation av dagens cement innan det nya cementet presenteras.

Dagens cement

Volym, produktionskapacitet. Världsproduktionen av cement är i dag mer än *tre miljarder ton årligen*, vilket gör cement till världens volymmässigt största industriellt tillverkade material. Den svenska årsförbrukningen av cement är cirka *två miljoner ton*. Att producera så stora volymer kräver stora produktionsanläggningar och rationell produktionsteknik.

För särskilda ändamål produceras vissa mängder specialcement, vilka inte är port-

landbaserade. Exempel är aluminatcement av olika typer, vilka används för eldfasta produkter, för golvmassor med mera. Det tillverkas även mindre mängder av olika specialcement för reparation, markstabilisering, injektering och andra ändamål. Sådana cementtyper är dyra och ofta svårhanterliga i den vanliga byggprocessen. De har därför inte fått någon användning för vanliga byggnadsändamål.

All betong som produceras i Sverige i dag baseras antingen på *rent portlandcement* eller på *portlandblandcement* bestående av portlandcement (portlandklinker) med en mindre andel (mindre än femton viktprocent) inblandade så kallade *mineraliska tillsatsmaterial* (flygaska från kolförbränning, masugnslag eller kalkmjöl). Tendensen i dag är att man kommer att öka andelen tillsatsmaterial, men fortfarande kommer portlandklinkern att vara den dominerande andelen.

Dagens cementproduktion är mycket rationell. Som exempel kan nämnas att den största ugnen vid Cementas anläggning i Slite på Gotland producerar 5 500 till 6 000 ton cementklinker *per dygn*, vilket motsvarar cirka 6 000 till 6 500 ton rent portlandcement efter tillsats av normal mängd gips (cirka sex procent) och kalkstensmjöl (fem procent). Denna höga produktionskapacitet uppnås genom att tillverkningen är en kontinuerlig process i roterugn, där färdig cementklinker går ut ur ena änden på ugnen samtidigt som nytt råmaterial tillförs i andra änden.

Huvuddelen av allt cement som används i Sverige sedan mer än tio år ("Byggcement") utgörs av blandcement, i vilket portlandklinkern blandats med upp till femton procent kalkmjöl. Dygnproduktionen baserad på cementklinker från största ugnen i Slite blir därför cirka 6 700 till 7 300 ton så kallad Byggcement per dygn.

I dag tillåter den svenska cementstandarden att man blandar in ännu mer tillsatsmaterial, till exempel slagg eller flygaska vilka båda är restmaterial från annan produktion. En inblandningsnivå av cirka 35 viktprocent är fullt möjlig för cement som används för normal betongproduktion. Dagens tillverkningskapacitet blir därför ännu högre och begränsas främst av malningskapaciteten vid cementfabriken.

Om ett nytt cement ska kunna ersätta nuvarande portlandbaserade cement i större skala måste rimligen produktionskapaciteten vara av samma storleksordning som för nuvarande cement.

Råmaterialtillgång, pris. Råmaterialet till portlandcement består av kalksten samt kisel- järn- och aluminiumhaltiga material, till exempel lera och sand. Dessutom ingår gips. Samtliga dessa material finns i stor mängd i jordskorpan och utgör därför ingen begränsning för fortsatt storskalig produktion i flertalet länder. Dessutom finns industriella tillsatsmaterial som kan blandas in i cementet, till exempel slagg och flygaska, i stor mängd. De utgör i dag ett avfallsproblem, vilket alltså kan minska om de används vid cementproduktion.

Genom att produktionsprocessen är rationell och råmaterialet billigt kan priset på färdigt cement hållas tämligen lågt. Cementkostnaden i en kubikmeter svensk normalbetong är av storleksordningen 250 kronor.

För att ett nytt cement ska kunna ersätta dagens cement krävs att råmaterial finns i stora kvantiteter och att produktionskostnaden kan hållas låg.

Användningstekniska egenskaper hos "portlandbaserad" betong. Erfarenheter från användning av betong byggd på portlandbaserade cement är mer än hundraåriga. Forskningsinsatserna nationellt och internationellt har varit omfattande. Kunskapsmängden är därför överväldigande stor, såväl när det gäller materialteknik som när det gäller produktions- och konstruktionsteknik. Kunskap inom samtliga dessa områden har samlats i omfattande och välkända handböcker [2]. Genom all denna kunskap kan vi i dag producera betong med goda mekaniska egenskaper, och tillverka betongkonstruktioner med över hundra års förväntad livslängd, ett krav som numera ofta ställs av byggherren.

En viktig förutsättning bakom "portlandbetongens" framgång, framför allt i utomhuskonstruktioner, är att betongmaterialet är kompatibelt med den stålarmering som alltid krävs för att förhindra att konstruktionen spricker och havererar. Betongen har nämligen ungefär samma temperaturrelateringar som stål, samtidigt som betongen har ett pH-värde som förhindrar att korrosion av den ingjutna stålarmeringen kan ske.

Varje alternativt cement måste uppfylla samma krav på mekaniska egenskaper och beständighet som ett portlandcementbaserat cement om det ska kunna ersätta detta i vanliga konstruktioner och inte enbart begränsas till produktion av mindre specialprodukter.

Artikelförfattare är
Göran Fagerlund,
Avdelningen
byggnadsmaterial,
Lunds tekniska
högskola (LTH).



Miljöpåverkan. Portlandklinker baseras huvudsakligen på kalksten, CaCO_3 . I cementugnen kalcineras denna, det vill säga koldioxid (CO_2) avgår. 1 kg kalksten producerar 0,44 kg koldioxid. För att bränna ett ton normal cementklinker åtgår cirka 1,2 ton kalksten, det vill säga koldioxidproduktionen av kalcineringen är cirka 520 kg per ton klinker, vilket motsvarar cirka 490 kg per ton cement när detta helt saknar inblandade tillsatsmaterial. Detta är ett utsläpp som inte kan undvikas. Ytterligare koldioxidutsläpp sker från bränslet. I genomsnitt produceras cirka 860 kg koldioxid per ton svensk portlandklinker och cirka 740 kg koldioxid per ton svensk cement. Exakt hur stort utsläppet blir beror på klinkertypen, brännprocessen och mängd inblandat tillsatsmaterial. I framtiden kommer man troligen att öka andelen inmalda tillsatsmaterial, vilket medför att utsläppet av koldioxid kommer att minska i motsvarande mån.

En stor del av den koldioxid som släpps ut vid cementproduktionen binds på sikt i betongen genom att denna reagerar med luftens koldioxid varvid kalksten återskapas. Teoretiskt kan all koldioxid från kalcineringen av kalkstenen åter bindas i betongen, men det förutsätter att all cement har reagerat i betongen och att koldioxiden kan tränga in genom hela betongkonstruktionen. Båda dessa krav förutsätter mycket lång tid (ofta sekler) från det att betongen tillverkades. Koldioxid från bränslet kan inte återvinnas.

Cementtillverkning kräver energitillförsel i form av värme till cementugnen och elenergi till cementmalningen. Följande värden gäller för svensktillverkad cement, [3]:

- Värme: cirka 4 GJ per ton cement.
- Elenergi: cirka 130 kWh per ton cement.

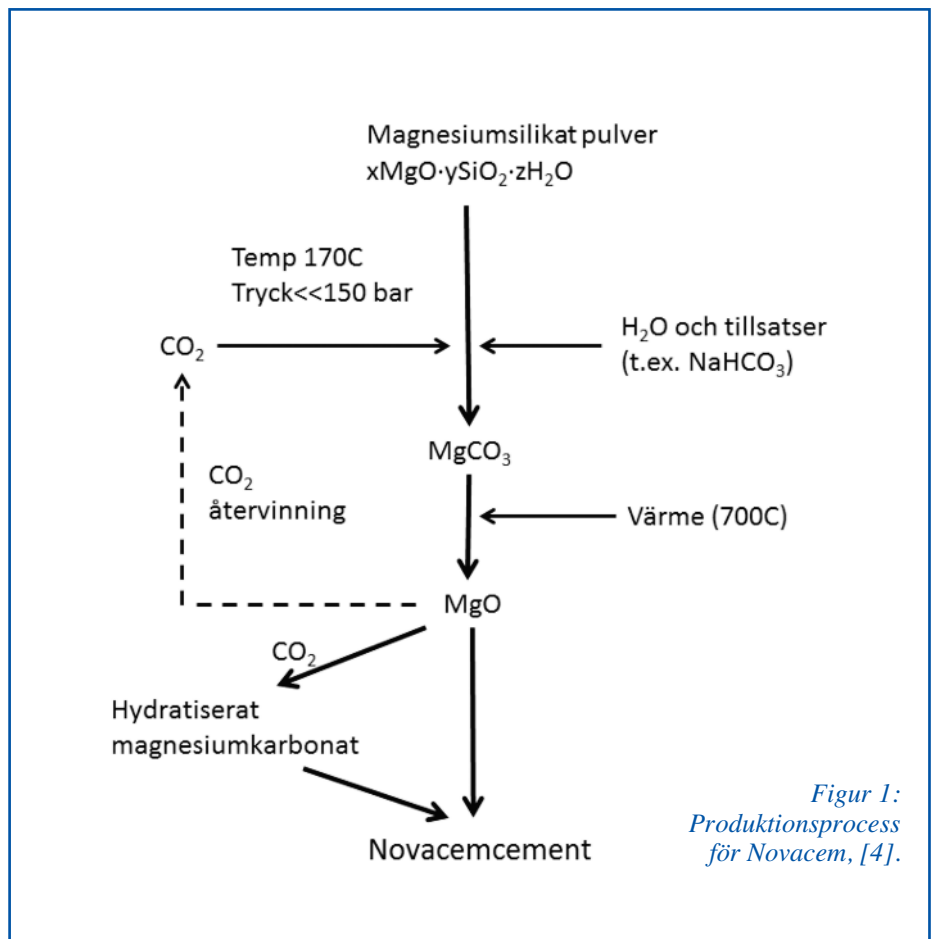
I dag anstränger sig cementindustrin att använda mera miljövänliga bränslen till cementugnen, till exempel lösningsmedelsavfall, oljerester, färgavfall, gummidäck, sopor, biomassa. Inom Cementa utgör dessa i dag cirka 30 procent av totala mängden värmeenergi varav cirka 45 procent är biomassa, [3].

Koldioxid som emitteras vid cementtillverkning av portlandcement kan även i princip fångas in och lagras i mark eller i hav. Då blir cementtillverkning koldioxidneutral. Teknik för detta existerar men har ännu inte använts i större skala vid cementproduktion. Provkörningar genomförs dock vid Norcems cementfabriker i Norge.

Det nya cementet

Produktionsprocessen. Novacem består av en blandning av magnesiumoxid (MgO) och hydratiserat magnesiumkarbonat. Utgångsmaterialet är ett magnesiumsilikat, till exempel talk, serpentin eller olivin.

Cementproduktionen sker i tre steg i ett antal reaktorer, se figur 1.



Figur 1: Produktionsprocess för Novacem, [4].

Steg 1: I en lågtemperaturprocess (170 °C) vid högt tryck tillförs koldioxid. Samtidigt tillförs vattenånga och någon tillsats, till exempel natriumbikarbonat (NaHCO_3). Därvid omvandlas råmaterialet (till exempel talk) till magnesiumkarbonat, (MgCO_3).

För att göra produktionsprocessen koldioxidneutral utnyttjas koldioxiden som produceras i steg 2.

Steg 2: I en högtemperaturprocess (700 °C) kalcineras det i steg 1 bildade magnesiumkarbonatet. Den frigjorda koldioxiden går tillbaka till steg 1. Produktionsresultatet i steg 2 är ren magnesiumoxid, (MgO).

Steg 3: En del av magnesiumoxiden från steg 2 används för att producera hydratiserat magnesiumkarbonat. Koldioxiden som behövs för detta kommer från förbränningsprocessen i steg 1 och 2 eller från extern källa. Det är mycket ofullständigt beskrivet hur processen i steg 3 går till, till exempel under vilket tryck och vid vilken temperatur.

Den del av magnesiumoxiden som inte omvandlas till hydratiserat magnesiumkarbonat blandas med detta mineral. Resultatet är Novacem.

Upphovsmännen till cementet anger följande fördelar med processen:

- Produktionen tycks ske i reaktor. Trots detta anges att processen är kontinuerlig och att den kan ske utan slitage på utrustningen. Upphovsmännen hävdar att en pilotanläggning tagits fram. Utseende och kapacitet hos denna har inte redovisats.

- Man påstår att grövre utgångsmaterial kan användas än för produktion av portlandcement.

- Tillgången till råmaterial anges vara mycket stor. Världens tillgång på magnesiumsilikat av olika typ anges uppgå till mer än tio miljarder ton.

Man hävdar att den utvecklade tillverkningsprocessen kan skalas upp till vad man kallar "industrial scale".

Miljöpåverkan av tillverkningen. Upphovsmännen anger följande generella miljöfördelar hos det nya cementet, [4]:

- Eftersom utgångsmaterialet är magnesiumsilikat och inte kalciumkarbonat släpps ingen koldioxid ut vid processen (bortsett från den koldioxid som kommer från bränslet).

- Den relativt låga temperaturen (700 °C) innebär att mindre energi går åt än för produktion av portlandklinker. Dessutom kan man använda bränsle med lågt energiinnehåll, till exempel biomassa, vilket ytterligare reducerar koldioxidutsläppet.

- Produktionen av hydratiserat magnesiumkarbonat gör att koldioxid absorberas under tillverkningsprocessen till skillnad från vid tillverkning av portlandcement då koldioxid släpps ut.

Man har gjort en simulerad tillverkningsprocess för att bedöma energibalansen. Bedömningen visar följande värden:

- Värme: cirka 2,1 GJ per ton cement.
- Elenergi: cirka 74 kWh per ton cement.

Detta är cirka 50 à 60 procent av energibehovet för att tillverka portlandcement.

Tabell 1.

Produktionssteg	Scenario 1: Biomassabränsle kg CO ₂ per ton cement	Scenario 2: Naturgas och el kg CO ₂ per ton cement
Malning av råmaterial	8,4	8,4
Transport av dito	3,2	3,2
Värme	0	116,4
Elektricitet	0	44,4
CO ₂ -absorption i processen	-31,7	-31,7
Totalt	-20,1	140,8

Koldioxidbalansen för tillverkningen beror på vilket bränsle som används. Man har genomfört beräkningar av koldioxidbalansen för två olika produktionsscenarioer vad avser använt bränsle. Resultatet visas i tabell 1, [4].

Enligt scenario 1 konsumeras koldioxid vid tillverkningen. Enligt scenario 2 finns ett visst koldioxidutsläpp men detta är enbart cirka tjugo procent av utsläppet från produktion av portlandcement.

Man anger att en processutveckling har genomförts innebärande att cementet innehåller en högre andel magnesiumkarbonathydrat. Därvid har ännu bättre koldioxidprestanda uppnåtts:

- Scenario 1: -108,5 kg CO₂ per ton cement.
- Scenario 2: +52,3 kg CO₂ per ton cement.

Ökningen av mängden magnesiumkarbonathydrat påstås inte påverka cementets egenskaper negativt.

Produktionskostnad – cementpris. Inga uppgift finns om troligt cementpris. Man hävdar dock att det är jämförbart med priset för Portlandcement.

Det är uppenbart att mycket stora investeringar krävs om hela den nuvarande storskaliga portlandklinkerproduktionen ska ersättas. Inga investeringskostnader för en produktionsanläggning är kända.

När det gäller den rörliga kostnaden hävdar upphovsmännen att tillverkning av Novacem är jämförbar med nuvarande cementproduktion. Belägg för detta påstående ges dock inte.

Egenskaper hos cement och betong. Hydratationsmekanism, hydrationsutveckling och strukturutveckling. Den främsta reaktiva komponenten i Novacem är förmodligen magnesiumoxiden som bör bilda magnesiumhydroxid när cementet reagerar med vatten. Inga detaljer redovisas emellertid när det gäller reaktionsmekanismen. Så länge det inte uppges vilka reaktionsprodukter som skapas kan man till exempel inte bedöma långtidsstabiliteten hos produkter baserade på Novacem.

Inte heller är det känt hur den fysikaliska strukturen hos den härnade cementpastan ser ut. Viktiga strukturegenskaper som inte beskrivs är: inre specifik yta, porositet, porstorleksfördelning, hygroskopicitet.

Samtliga dessa egenskaper bör vara beroende av cementets reaktionsgrad, oklart hur. En viktig egenskap om Novacem ska kunna användas i armerade kon-

struktioner är att armeringsstål som gjuts in i betongen är skyddat mot korrosion. För att så ska vara fallet måste pH-värdet hos reaktionsprodukterna som omger stålet åtminstone vara högre än 10, gärna ännu högre (i portlandcementbaserad betong är pH av storleksordningen 13 till 14). Ingen uppgift finns om pH-värdet.

Betongproduktionsteknik – färskas betongens egenskaper. Ingenting presenteras när det gäller den färskas betongens egenskaper, vilka är fundamentala för att cementet ska kunna användas praktiskt. Innan sådan information getts kan man inte bedöma om Novacem kan ha en framtid som bindemedel i traditionell betong.

Betongens mekaniska egenskaper. Företrädare för Novacem hävdar att produkter baserade på detta cement är jämförbara med produkter baserade på portlandcement. Det ges inga fullständiga bevis för relevansen av detta påstående. Den enda information som ges är hållfasthetstillväxten hos några prover. Figur 2 visar hållfasthetstillväxten hos en cementpasta med obekant sammansättning och oklara härdningsförhållanden.

Hållfasthetstillväxten tycks vara någorlunda lika den som till exempel gäller för svensk Byggcement, vilket framgår av

Tabell 2.

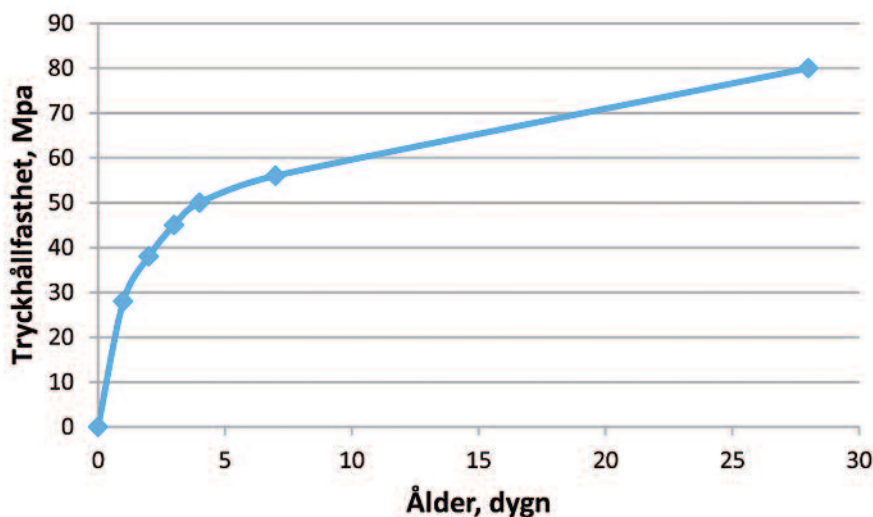
Härdningstid	Novacem (pasta)	Byggcement (normbruk)
1 dygn	cirka 35 %	38 %
2 dygn	cirka 45 %	59 %
7 dygn	cirka 70 %	79 %

följande data där jämförelse görs med 28-dygnshållfastheten för respektive material. Jämförelsen är dock inte helt relevant eftersom sammansättningen och härdningsförhållandena hos pastan är okända se tabell 2.

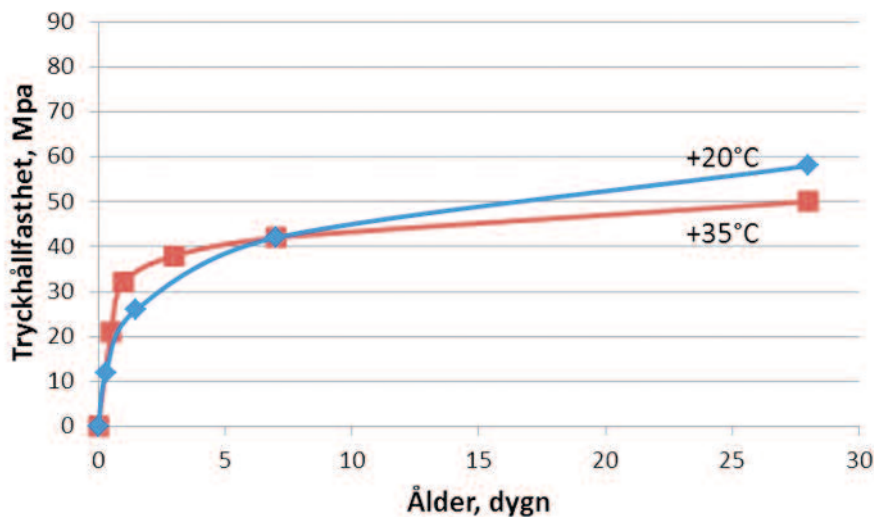
Hållfasthetstillväxten är som förväntat beroende av härdningstemperaturen. Exempel på detta visas i figur 3 på sidan 32 för en betong med okänd sammansättning. Denna figur antyder att hållfasthetstillväxten vid +20 °C är långsammare än för cementpastan i figur 2. Exempel: 1-dygnshållfastheten är enbart cirka tjugo procent av 28-dygnshållfastheten. Denna stora skillnad mellan kurvorna i figur 2 och figur 3 är förvirrande. Möjligen är hållfasthetskurban i figur 2 baserad på cementpasta som härdats vid förhöjd temperatur.

Uppenbarligen saknas mycket information om Novacems hållfasthetspotential. Man kan inte bara förlita sig på några få hållfasthetskurvor med oklar bakgrund för att dra slutsatser om cementets potential som konstruktionsmaterial.

När det gäller andra viktiga mekaniska egenskaper, till exempel draghållfasthet, tøjbarhet, krympning, krypning, elastici-



Figur 2: Hållfasthetstillväxt hos en Novacempasta som funktion av härdningstiden, [4].



Figur 3: Hållfasthetstillväxt hos vattenlagrad Novacembetong vid två olika härdningstemperaturer under första dygnet (+20 °C efter första dygnet), [4].

tetsmodul, slitstyrka, vidhäftning till armering, med flera egenskaper ges ingen information. Man har uppenbarligen huvudsakligen studerat tryckhållfasthet.

Beständighet. Frågan om betongens förmåga att skydda mot *armeringskorrosion* är fundamental men obekant. Om denna egenskap kan ifrågasättas begränsas Novacem till användning i torra miljöer såsom vanlig inomhusmiljö.

Om betong med Novacem ska användas i utomhuskonstruktioner i kallt klimat är *frostbeständigheten* av stor vikt. Därför måste man studera sådana egenskaper som frysbart vatten, vattenabsorption, motståndsförmåga mot frost i kombination med salt.

För betong som används i inomhusmiljö är *fuktfixering* och *fukttransportegenskaper* viktiga eftersom de påverkar risken för byggfuktskador.

Motståndsförmågan mot *kemisk attack* och förmågan att stå emot *urlakning* är viktiga för många applikationer.

Ingen av dessa beständighetsegenskaper redovisas i öppet tillgängligt informationsmaterial. Det förefaller därför som om beständigheten hos betong baserad på Novacem inte studerats i särskilt hög grad.

Konstruktionsteknik. Några undersökningar av hur Novacem uppför sig i konstruktionsbetong har inte redovisats. Det är självklart att beprövade bindemedel som de portlandbaserade inte kan bytas mot ett helt nytt magnesiumbaserat bindemedel utan att man gjort omfattande studier av hur bindemedlet fungerar i konstruktioner av olika typ.

Sammanfattande bedömning

Novacem är ett intressant cement ur ren miljömässig synpunkt. Detta beror på det låga koldioxidutsläppet eller i bästa fall koldioxidupptagningen vid tillverkningen, kombinerat med den tämligen låga tillverkningstemperaturen som ger ener-

gibesparing. Många faktorer talar dock mot att cementet skulle få något större genomslag:

- Det är svårt att förstå hur dagens mycket rationella, kontinuerliga och storskaliga tillverkningsprocess av portlandklinker ska kunna ersättas av den tillverkning i reaktorer vid högt tryck och vid två olika temperaturer som krävs i Novacemprocessen. Det förefaller som om hittillsvarande produktion av små mängder Novacem har skett i laboratorieskala.

- Det är omöjligt att göra en bedömning av vilka fasta kostnader som krävs för att etablera en Novacemfabrik. Inte heller är den rörliga kostnaden för Novacemproduktion kända. Upphovsmännens påstående att priset skulle vara jämförbart med priset för Portlandcement saknar därför trovärdighet.

- De enskilda fyndigheterna av utgångsmaterialet magnesiumsilikat är ofta små och geografiskt spridda. Den mest kända fyndigheten i Sverige är Handöl i Jämtland, där materialet förekommer i täljsten. Cementproduktion i stor skala förutsätter stora mängder råmaterial.

- Materialegenskaperna hos Novacem är nästan totalt okända. Det enda som redovisats är några hållfasthetskurvor. En orsak är möjligen att man inte kunnat producera de stora mängder cement som krävs för mer omfattande provningar. Det framgår inte heller om upphovsmännen till cementet har etablerat kontakt med forskare inom betongområdet.

- För att Novacem ska kunna användas som "konstruktionscement" och inte enbart i enklare betongvaror krävs omfattande forskning inom alla de tre områdena, betongproduktionsteknik, materialteknik och konstruktionsteknik. För att ta fram all den kunskap som fordras för att man ska kunna använda Novacem till att bygga säkra betongkonstruktioner krävs mycket omfattande forsknings- och utvecklingsinsatser.

Den sammanfattande bedömningen är alltså att man på grundval av kända fakta inte kan tro att Novacem har den stora potential som upphovsmännen hävdar. Möjligen kan det tämligen snabbt, när produktion kommer igång, få viss tillämpning i byggvaror som inte används för konstruktiva ändamål. Då kan dess goda miljöprofil ge marknads fördelar. Redan i dag finns dock flera "miljövänliga" bindemedel som används inom detta segment.

Om miljöprofilen hos dagens cement ska förbättras är förmodligen det mest näraliggande att behålla befintlig produktionsteknik för Portlandklinker, men utveckla teknik för att fånga in och lagra koldioxiden från tillverkningen, att använda miljövänliga bränslen, till exempel biomassa av olika typ och att utnyttja industriella restmaterial. Redan i dag görs stora ansträngningar i dessa riktningar. Det är mycket viktigt att dessa förändringar inte får negativ påverkan på cementets förmåga att ge betongkonstruktioner med mycket hög säkerhet och beständighet. ■

Referenser

[1] Fagerlund, G.: *Novacem. Magnesiumbaserat cement med gynnsam miljöprofil. Bedömning av cementets potential.* Avd. byggnadsmaterial LTH. Rapport TVBM-7210, 2011.

[2] Svensk Byggtjänst: *Fyra betonghandböcker: Konstruktion, Material, Arbetsutförande, Högpresterande Betong.*

[3] Cementa. *Hållbarhetsredovisning 2009.*

[4] Vlasipoulos, N.: *Novacem – a carbon negative cement for the construction industry.* Ingår i handlingar från 1st Future Cement Conference and Exhibition 2011 organiserad av London Chamber of Commerce and Industry, 9 February 2011.