

NOVACEM

MAGNESIUMBASERAT CEMENT MED GYNNSAM MILJÖPROFIL

Bedömning av cementets potential

Göran Fagerlund

Bakgrund

Dagens cement är så gott som alltid baserade på s.k. portlandklinker. Denna produceras i en kontinuerlig process i en cementugn. Utgångsmaterialet är kalksten som bränns vid hög temperatur i ugnen. Processen är energikrävande samtidigt som stora mängder koldioxid drivs ut ur kalkstenen och ur bränslet. Koldioxidutsläppet från världens totala cementproduktion anses uppgå till ca 5% av alla koldioxidutsläpp globalt. Exempel på energibehov och koldioxidutsläpp gällande för svensk cementproduktion ges i kapitel 1.

Stora ansträngningar, inte minst i Sverige, görs numera att reducera utsläppet av koldioxid. Detta sker genom att man i större utsträckning använder olika restbränslen och biomassa för cementbränningen samt genom att industriella restmaterial, som flygaska från kolförbränning och masugnsslagg, blandas med portlandklinkern vid cementtillverkningen. Därvid minskar behovet av klinkerbränning.

Det vore naturligtvis önskvärt om man kunde ersätta dagens portlandklinkerbaserade cement med något alternativt energisnålt och ökoldioxid neutralt bindemedel, som skulle kunna produceras till ungefär samma kostnad som dagens cement och med samma goda användningstekniska egenskaper. Därför väckte det stor uppståndelse när en grupp engelska forskare vid Imperial College i London förra året presenterade ett cement, som inte enbart var koldioxid neutralt, utan som faktiskt *absorberade koldioxid* under produktionen. Cementet, som baserades på magnesiumhaltigt råmaterial (t.ex. talk), hade döpts till *Novacem*.

Det nya cementet fick betydande uppmärksamhet i svensk press. Det ansågs därför angeläget att närmare studera cementet i olika avseenden, t.ex. när det gäller cementproduktionsteknik och användning i betong. Ett projekt med syfte att utvärdera det nya cementet initierades därför av Skanska. SBUF kontaktades och ett anslag beviljades. En projektgrupp bildades bestående av Kyösti Tuutti Skanska, Sven-Erik Johansson och Erik Viggh från Cementa och med Göran Fagerlund som utredningsman.

En viktig del av utredningen skulle bestå av ett besök hos den engelska forskargruppen för att dessa skulle ge närmare information. Samtidigt skulle man kunna besöka den pilotanläggning man enligt uppgift har byggt. Ett sådant besök blev inte av eftersom den engelska forskargruppen genom sin kontaktperson, John Pendergast, meddelade att de av tidsskäl inte kunde ta emot oss. Detta gör att informationen i föreliggande rapport är begränsad.

Gruppmedlemmen Erik Viggh kunde dock delta i en internationell konferens i London om nya bindemedel¹. Vid denna presenterades bl.a. en artikel om *Novacem*². Föreliggande rapport baseras i stort sett helt på information från denna konferens.

Föreliggande rapport består av följande huvuddelar:

- Kap 1. En kort beskrivning av dagens portlandklinkerbaserade cement.
- Kap 2. En beskrivning av *Novacem*.
- Kap 3. En sammanfattande bedömning av *Novacem* som konstruktionscement.
- Appendix. En beskrivning av alternativa cement med reducerade koldioxidutsläpp.

¹) 1:st Future Cement Conference and Exhibition 2011. Organiserad av London Chamber of Commerce and Industry. 9 February 2011.

²) Vlasopoulos, Nikolas: *Novacem – a carbon negative cement for the construction industry*. ibid

1. Portlandklinkerbaserade cement

1.1 Produktionsvolym globalt och nationellt

Så gott som alla betongkonstruktioner och alla betongvaror världen över tillverkas med *portlandbaserat cement*. Sådant cement är världens största industriellt tillverkade material. Världsproduktionen är i dag ca *3 miljarder ton årligen*. Den svenska årsförbrukningen av cement är ca *2 miljoner ton*. Att producera så stora volymer kräver stora produktionsanläggningar och rationell produktionsteknik.

För särskilda ändamål produceras vissa mängder specialcement, vilka inte är portlandbaserade. Exempel är aluminatcement av olika typer, vilka används för eldfasta produkter, för golvmassor, m.m. Det tillverkas även mindre mängder av olika specialcement för reparation, markstabilisering, injektering och andra ändamål. Sådana cement är dyra och ofta svårhanterliga i den vanliga byggprocessen. De har därför inte fått någon användning för vanliga byggnadsändamål.

1.2 Produktionskapacitet

All betong som produceras i Sverige i dag baseras antingen på *rent portlandcement* eller på *portland-blandcement* bestående av portlandcement (portlandklinker) med en mindre andel (<15 vikt-%) inblandade s.k. *mineraliska restmaterial* (flygaska från kolförbränning, masugnsslagg eller kalkmjöl). Tidigare har man även tillverkat slaggcement med större andel slagg (65%) och mindre andel portlandklinker (35%). 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 i Cementas anläggning i Slite på Gotland producerar 5500-6000 ton cementklinker *per dygn*, vilket motsvarar ca 6000-6500 ton rent portlandcement efter tillsats av normal mängd gips (ca 6%) och kalkstensmjöl (5%). 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 10 år (ôByggcementô) utgörs av blandcement i vilket portlandklinkern blandats med upp till 15% kalkmjöl. Dygnsproduktionen baserad på cementklinker från största ugnen i Slite blir därför ca 6700-7300 ton s.k. Byggcement per dygn.

I dag tillåter den svenska cementstandarden att man blandar in ännu mer tillsatsmaterial, t.ex. slagg eller flygaska vilka båda är restmaterial från annan produktion. En inblandningsnivå av ca 35 vikt-% är fullt möjlig för cement som används för normal betongproduktion. Dagens tillverkningskapacitet blir därför ännu högre och begränsas främst av malningskapaciteten vid cementfabriken. Denna kan relativt enkelt ökas.

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

1.3 Miljöpåverkan av cementtillverkning

Portlandklinker baseras huvudsakligen på kalksten, CaCO_3 . I cementugnen kalcineras denna, dvs. koldioxid (CO_2) avgår. 1 kg kalksten producerar 0,44 kg koldioxid, CO_2 . För att bränna 1 ton normal cementklinker åtgår ca 1,2 ton kalksten, dvs. koldioxidproduktionen av kalcine-

ringen är ca 520 kg per ton klinker vilket motsvarar ca 490 kg per ton cement när detta helt saknar inblandade material. Detta är ett utsläpp som inte kan undvikas. Ytterligare koldioxidutsläpp sker från bränslet. I genomsnitt produceras ca 860 kg koldioxid per ton svensk portlandklinker och ca 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 CaCO_3 återskapas. Teoretiskt kan all koldioxid från kalcineringen av kalkstenen åter bindas i betongen, men det förutsätter att all cement har reagerat (hydratiserat) i betongen och att koldioxiden kan tränga in genom hela betongkonstruktionen. Båda dessa krav förutsätter mycket lång tid (oftast sekler) från det 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 cement³:

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

I dag anstränger sig cementindustrin att använda mera miljövänliga bränslen till cementugnen, t.ex. lösningsmedelsavfall, oljerester, färgavfall, gummidäck, sopor, biomassa. Inom Cementa utgör dessa i dag ca 30% av totala mängden värmeenergi varav ca 45% är biomassa⁴.

1.4 Råmaterial för cementtillverkning

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

1.5 Pris för cement

Genom att produktionsprocessen är så rationell och råmaterialet billigt kan priset på färdigt cement hållas tämligen lågt. I Sverige är priset för vanligt Byggcement ca 800 kr per ton vid cementterminalen. Cementkostnaden i en m^3 normalbetong är ca 220 kr.

1.6 Användningstekniska egenskaper hos öportlandbaserad betong

Erfarenheter från användning av betong byggd på portlandbaserade cement är mer än 100-åriga. Forskningsinsatserna nationellt och internationellt har varit omfattande. Kunskapsmängden är därför överväldigande stor, såväl när det gäller materialteknik som när det gäller produktionsteknik och konstruktionsteknik. Kunskap inom samtliga dessa områden har samlats i omfattande och välkända handböcker⁵.

Genom all denna kunskap kan vi i dag producera betong med goda mekaniska egenskaper, och tillverka betongkonstruktioner med över 100 års förväntad livslängd, ett krav som numera ofta ställs av byggherren.

³) Cementa Hållbarhetsredovisning 2009.

⁴) Se fotnot 3.

⁵) Exempelvis de fyra svenska betonghandböckerna Material, Arbetsutförande, Konstruktion, Högpresterande Betong.

En viktig förutsättning bakom öportlandbetongens ö 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 temperaturrelater 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 viktiga krav på mekaniska och beständighetsmässiga egenskaper som ett portlandcementbaserat cement om det skall kunna ersätta detta i vanliga konstruktioner och inte enbart begränsas till produktion av mindre specialprodukter.

2. Novacem

Informationen nedan baseras på artikeln i fotnot 2.

2.1 Kemisk karakteristik

Novacem består av en *blandning* av magnesiumoxid (MgO) och hydratiserat magnesiumkarbonat.

Sammansättningen av det hydratiserade magnesiumkarbonatet beskrivs på följande sätt:



där: $x > 1$, och åtminstone någon av y och z är > 0 .

Ett stort antal hydratiserade magnesiumkarbonat är tänkbara i *Novacem*.

x	y	z
1	1	3
4	1	4
4	1	5
1	0	2
1	0	3
1	0	5

Inget av dessa ämnen är kommersiellt tillgängliga. Därför ingår tillverkningen av dem i produktionsprocessen av *Novacem*. Tillverkningen sker i en speciell reaktor, ev. i en serie av reaktorer, oklart vilket.

Magnesiumkarbonatet är en fundamental del av *Novacem* eftersom det anges ha två viktiga funktioner:

1. Det kontrollerar hydrationsprocessen genom att modifiera hydrationsmekanismen hos MgO, samtidigt som det påverkar de fysikaliska egenskaperna hos hydrationsprodukterna. Mekanismen beskrivs inte
2. Det absorberar koldioxid i samband med att det bildas i reaktorn. CO₂-absorptionen är 300-500 kg per ton producerat karbonat. Detta anses vara den viktigaste egenskapen hos *Novacem*, och är den egenskap som främst marknadsförs. Enligt uppgift kan man variera magnesiumkarbonatinnehållet i cementet och därmed påverka storleken hos koldioxidabsorptionen.

2.2 Produktionsteknik

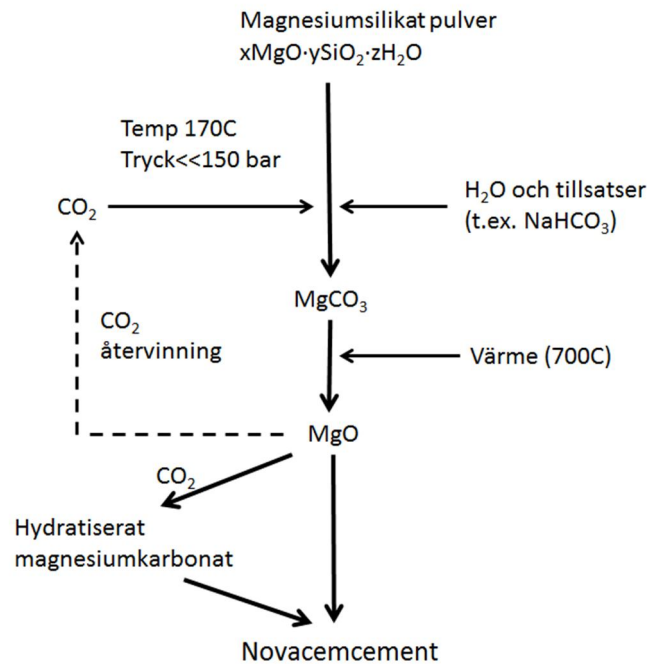
Under produktionsprocessen skall två produkter tillverkas och blandas med varandra för att bilda *Novacem*-cement:

1. Magnesiumoxid (MgO)
2. Hydratiserat magnesiumkarbonat (se formeln ovan)

Inget av dessa material finns kommersiellt tillgängligt. Därför utgår man från ett magnesiumhaltigt material, t.ex. ett magnesiumsilikat som omvandlas i en reaktor. Ett sådant utgångsmaterial är *talk* med sammansättningen $\text{Mg}_3 \cdot \text{Si}_4\text{O}_{10} \cdot (\text{OH})_2$

Även andra magnesiumhaltiga material, t.ex. *olivin* $-(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4-$ eller *serpentin* $-(\text{MgFe})_3\text{SiO}_5(\text{OH})_2-$ kan användas.

Cementproduktionen sker i 3 steg i en eller flera reaktorer, se figuren.



Steg 1:

I en lågtemperaturprocess (170°C) vid högt tryck tillförs koldioxid. Samtidigt tillförs vattenånga och någon tillsats, t.ex. natriumbikarbonat (NaHCO₃). Därvid omvandlas råmaterialet (t.ex. talk) till magnesiumkarbonat, (MgCO₃).

För att göra processen koldioxidneutral används koldioxiden från steg 2 i processen. Ev. tillförs även någon koldioxid från extern källa, t.ex. avgaser från förbränning, men detta framgår inte av beskrivningen

Vad som händer med silikatet framgår inte men troligen ingår det som en del av det färdiga cementet.

Steg 1 kan liknas vid ett slags autoklaving.

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 kommer från förbränningsprocessen i steg 1 och 2 eller från extern källa. Det är mycket ofullständigt beskrivet hur processen i steg 3 går till, t.ex. under vilket tryck och vid vilken temperatur. Inte heller framgår hur det nödvändiga vattnet tillförs.

Den del av magnesiumoxiden som inte omvandlas till magnesiumkarbonat blandas med detta. Resultatet är *Novacem-cement*.

Upphovsmännen till cementet anger följande fördelar med processen:

- Produktionen sker i *reaktor*. Trots detta anges att processen är kontinuerlig och att den kan ske utan slitage på utrustningen. Det tycks alltså inte vara fråga om ren öbatchtillverkning. Det är oklart hur den kontinuerliga processen skall kunna förenas med det höga trycket och med den tid det rimligen tar att få fullständig karbonatisering. Tidsåtgången och produktionskapaciteten anges inte, t.ex. om den är jämförbar med dagens produktion i roterugn. Inte heller beskrivs hur processutrustningen är utformad, t.ex. om det är fråga om flera reaktorer, vilket sannolikt är fallet. Upphovsmännen hävdar att en pilotanläggning med okänd kapacitet tagits fram.
- 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 10 miljarder ton.

Man hävdar att den utvecklade tillverkningsprocessen kan skalas upp till vad man kallar *öindustrial scale*.

2.3 Miljöpåverkan av cementtillverkning

Upphovsmännen anger följande generella miljöfördelar hos *Novacem*:

- Eftersom utgångsmaterialet är magnesiumsilikat elimineras utsläppet av koldioxid från processen.
- Dessutom innebär den relativt låga temperaturen (700°C) att mindre energi går åt än för produktion av portlandklinker. Dessutom kan man använda bränsle med lågt energiinnehåll, t.ex. biomassa, vilket ytterligare reducerar koldioxidutsläppet.
- Användning 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: ca 2,1 GJ per ton cement.
- Elenergi: ca 74 kWh per ton cement.

Detta är ca 50 à 60% av energibehovet för att tillverka portlandcement.

Koldioxidbalansen av tillverkningen påstås bero på vilket bränsle som används. Man har genomfört beräkningar av koldioxidbalansen för 2 olika produktionsscenarier vad avser använt bränsle. Resultatet visas i tabellen nedan.

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

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

- Scenario 1: -108,5 kgCO₂ per ton cement.
- Scenario 2: +52,3 kg CO₂ per ton cement.

Man påstår att ökning av mängden magnesiumkarbonathydrat inte påverkar cementets egenskaper negativt. Bevis för detta redovisas inte.

2.4 Produktionskostnad-cementpris

Priset på cement avgörs av två faktorer:

- Fast kostnad kopplad till produktionsanläggningen.
- Rörlig kostnad kopplad till tillverkningen (råmaterial, transporter, energi, personal).

Det är alldeles uppenbart att mycket stora investeringar krävs om hela den nuvarande storskaliga portlandklinkerproduktionen skall ersättas. Inga investeringskostnader för en produktionsanläggning anges⁶.

När det gäller den rörliga kostnaden hävdas att tillverkning av Novacem är jämförbar med nuvarande cementproduktion.

Citat: *Novacem* "will offer cost parity with ordinary cement".

Ingen uppgift finns om troligt cementpris.

2.5 Hydratationsmekanism, hydrationsutveckling och strukturutveckling

Den reaktiva komponenten i Novacem är magnesiunoxiden i cementet. Förmodligen bildas magnesiumhydroxid (brucit). Ingenting redovisas emellertid när det gäller reaktionsmekanismen. Därför är det oklart hur mycket vatten som fordras för reaktionen och vilka reaktionsprodukter som skapas. Det hävdas att magnesiumkarbonathydratet i *Novacem* styr reaktionen hos magnesiunoxiden men det anges inte hur detta samspel mellan de båda komponenterna i cementet och blandningsvattnet utspelas. Så länge det inte uppges vilka reaktionsprodukter som skapas kan man t.ex. inte bedöma långtidsstabiliteten hos produkter baserade på *Novacem*⁷.

Inte heller är det känt hur den fysikaliska strukturen hos den hårdnade cementpastan ser ut. Viktiga strukturegenskaper som inte beskrivs är:

- Inre specifik yta
- Porstorleksfördelning
- Hygroskopicitet (sorptionsisoterm)
- Porositet

Samtliga dessa egenskaper bör vara beroende av cementets reaktionsgrad, oklart hur.

⁶) Däremot anges att det krävs en investering av storleksordningen 100-300 miljoner Euro för att konvertera en av dagens cementfabriker med årskapaciteten 2 miljoner ton på ett sådant sätt att koldioxidproduktionen kan fångas in och förvaras. Detta skulle alltså kunna vara en indikation på vad den extra investeringen i en anläggning för *Novacem* skulle kosta.

⁷) *Aluminatcement* (ôsmältcementô) är exempel på ett cement som visade sig skapa en ostabil materialstruktur som bröts ned av fukt i kombination med värme. Det tog lång tid innan detta uppmärksammades, varefter cementtypen förbjöds. Något liknande kan inte tillåtas hända med produkter tillverkade av *Novacem*.

Det är också oklart hur reaktionens tidsberoende ser ut eller hur reaktionen påverkas av fukttillgången (t.ex. inre RH). Hållfasthetstillväxten (se Fig. 1) ger en viss uppfattning om hydrationsutvecklingen, men det är inte självklart att hållfasthetstillväxt och tillväxt i reaktionsgrad följer samma tidsförlopp. Inverkan av härdningstemperaturen på hydrationsutvecklingen, eller på vilka hydrationsprodukter som bildas, beskrivs inte. Cementet förefaller dock aktiveras av höjd temperatur, se Fig. 2.

En viktig egenskap om Novacem skall kunna användas i armerade konstruktioner är att armeringsstål som gjuts in i betongen är skyddat mot korrosion. För att så skall 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 13-14). Ingen uppgift finns om pH-värdet.

Uppenbarligen har en kraftig materialutveckling skett sedan cementet togs fram första gången hösten 2009. Enligt uppgift har nämligen 28-dygnshållfastheten hos cementpasta (med oklar sammansättning) ökat från ca 20 MPa hösten 2009 till 80 MPa hösten 2010. Det är förvånande att man inte beskriver orsaken till denna anmärkningsvärda ökning; om den beror på att man kunnat tillverka pasta med lägre vattenhalt eller om det skett dramatiska förändringar i cementets kemiska sammansättning så att ändrade reaktionsprodukter bildats. Den snabba egenskapsutvecklingen tyder på att cementet är långt ifrån färdigutvecklat.

2.6 Betongproduktionsteknik - Färska betongens egenskaper

Ingenting presenteras när det gäller den färska betongens egenskaper, vilka är fundamentala för att cementet skall kunna användas praktiskt. Exempel på viktiga egenskaper som alltså inte redovisas är bindetid (initieell och slutlig), pumpbarhet, gjutbarhet/komprimerbarhet som funktion av tid efter blandning, samverkan med tillsatsmedel (flyttillsats, luftporbildare m.fl.).

Innan sådan information getts kan man inte bedöma om *Novacem* kan ha en framtid som bindemedel i traditionell betong.

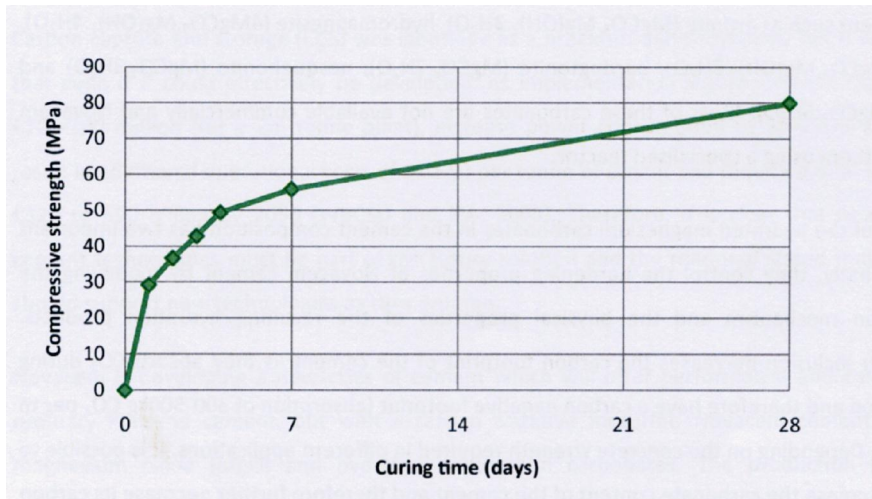
2.7 Betongens mekaniska egenskaper

Företrädare för *Novacem* hävdar att produkter baserade på detta cement är jämförbara med produkter baserade på portlandklinkercement.

Citat: *Novacem will offer performance ..parity with ordinary portland cement*.

Det ges inga bevis för relevansen av detta påstående. En information som ges är hållfasthetstillväxten hos en viss cementpasta med obekant sammansättning, se Fig. 1. Hållfasthetstillväxten tycks vara någorlunda lika den som t.ex. gäller för svensk Byggcement. Tabellen nedan visar hållfastheten relaterad till 28-dygnshållfastheten. Svenskt normbruk jämförs med data från Fig. 2 som gäller för cementpasta med okänd sammansättning och okända härdningsförhållanden.

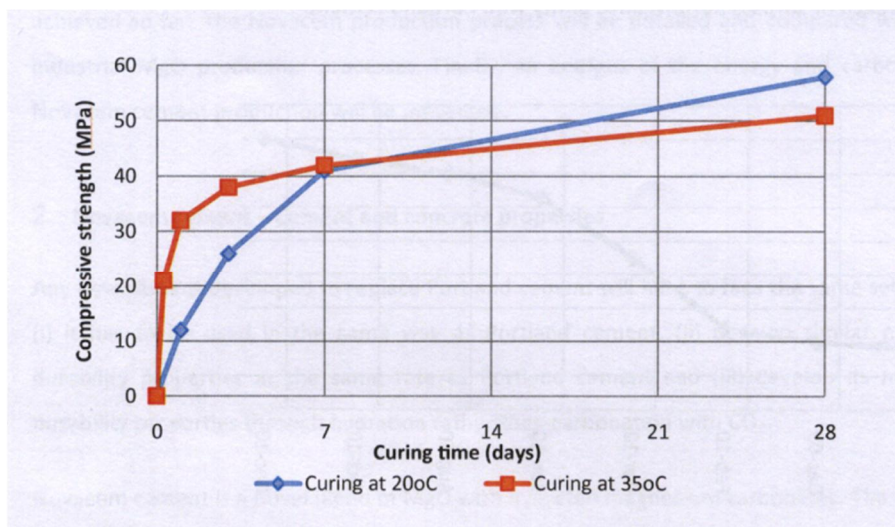
Härdningstid	<i>Novacem</i> (pasta)	Byggcement (normbruk)
1 dygn	ca 35%	38%
2 dygn	ca 45%	59%
7 dygn	ca 70%	79%



Figur 1: Hållfasthetstillväxt hos en Novacem-pasta som funktion av härdningstiden

Det hävdas att hållfasthetstillväxten är beroende av härdningstemperaturen. Exempel på detta visas i Fig. 2 för en betong med okänd sammansättning. Denna figur antyder att hållfasthetstillväxten vid +20°C är långsammare än för cementpastan i Fig. 1. Exempel: 1-dygnshållfastheten är enbart ca 20% av 28-dygnshållfastheten. Denna stora skillnad mellan kurvorna i Fig. 1 och Fig. 2 är förvirrande. Möjligen är hållfasthetskuran i Fig. 1 baserad på cementpasta som härdats vid förhöjd temperatur.

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



Figur 2: Hållfasthetstillväxt hos vattenlagrad Novacem-betong vid två olika härdningstemperaturer under första dygnet (+20°C efter första dygnet).

När det gäller andra viktiga mekaniska egenskaper, t.ex. draghållfasthet, tøjbarhet, krympning, krypning, elasticitetsmodul, slitstyrka, vidhäftning till armering, m.fl. egenskaper ges ingen information. Man har uppenbarligen huvudsakligen studerat tryckhållfasthet.

2.8 Betongbeständighet

Som nämnts tidigare i denna rapport är frågan om betongens förmåga att skydda mot *armeringskorrosion* fundamental. Om denna egenskap kan ifrågasättas begränsas *Novacem* till användning i torra miljöer såsom vanlig inomhusmiljö.

Om betong med *Novacem* skall 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. Även luftporstabiliteten hos den färska betongmassan under transport av denna, gjutning och komprimering måste klarläggas.

Även frågan om hydratationsprodukternas *långtidsstabilitet* måste utredas, se fotnot 7.

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. Det förefaller därför som om beständigheten hos betong baserad på *Novacem* inte studerats i särskilt hög grad. Man skriver i dokumentet från februari i år⁸:

“Work over the next 12-24 months will concentrate on the assessment of long term properties and durability”.

2.9 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.

Viktiga egenskaper för en konstruktion är alla de mekaniska som listas i avsnitt 2.7. Kunskap om dessa är grundläggande för att man skall kunna dimensionera en konstruktion. Dessutom måste man genomföra omfattande labundersökningar av olika typer av konstruktionselement för att se hur de uppför sig under olika typ av belastning och i vad avseende de ev. skiljer sig från motsvarande element med traditionellt cement.

⁸) se fotnot 2.

3. Sammanfattande bedömning av Novacem

Novacem är utan tvekan 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 energibesparing.

Upphovsmännen till *Novacem* har uppenbarligen ambitionen att det på sikt skall kunna ersätta nuvarande cement baserade på portlandklinker, vilket t.ex. framgår av följande yttrande⁹:

“The potential for low cost mining combined with the low energy consumption of the Novacem process means that Novacem cement can offer cost parity with Portland cement even without taking account of any value attributable to carbon dioxide”

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 skall kunna ersättas av den tillverkning i reaktorer vid högt tryck och vid två olika temperaturer som krävs i *Novacemprocessen*. Visserligen hävdas att även denna är kontinuerlig men exakt hur den skulle kunna vara det har inte påvisats. Någon beskrivning av hur en produktionsanläggning skall utformas har inte getts. Det förefaller som om hittillsvarande produktion av små mängder *Novacemcement* har skett i laboratorieskala.
- Eftersom utformningen av produktionsanläggningen, eller av den pilotanläggning som man hävdar har byggts, inte beskrivits är det 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.
- Råmaterialet, magnesiumsilikat, som t.ex. förekommer i talk, olivin och serpentin, förekommer visserligen i stora mängder globalt sett. De enskilda fyndigheterna är emellertid ofta små och geografiskt spridda. Den mest kända fyndigheten i Sverige är Handöl i Jämtland där materialet förekommer i täljsten. Små fyndigheter finns även i övriga delar av fjällkedjan. Cementproduktion förutsätter stora mängder råmaterial. En av Portlandcementets stora fördelar är att råmaterialet kalksten är rikt förkommande i stora koncentrerade fyndigheter.
- Materialelegenskaperna hos *Novacem* är nästan totalt okända. Det enda som redovisas är tre 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* skall kunna användas som ökonstruktionscement¹⁰ 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 skall kunna använda *Novacem* till att bygga säkra betongkonstruktioner krävs mycket omfattande forskningsinsatser. Man måste så att säga östarta från noll¹¹; dvs. utgå från att i stort sett ingenting är känt om mekaniska egenskaper, beständighet, samverkan med armering i olika belastningssituationer.

⁹) Se fotnot 2.

Den sammanfattande bedömningen är alltså att man inte kan tro att *Novacem* har den stora potential som upphovsmännen hävdar. Det är alltså mycket osannolikt att *Novacem* skall kunna slå ut dagens Portlandcement, i varje fall inte inom överskådlig tid. 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 marknadsfördelar. Redan i dag finns bindemedel som används inom detta segment, se Appendix.

Om miljöprofilen hos dagens cement skall 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, t.ex. 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 beständighet.

APPENDIX

Alternativa cement med reducerade koldioxidutsläpp

En genomgång av alternativa metoder att reducera koldioxidutsläpp från cementtillverkning görs i en artikel av Chana¹⁰. Några exempel ges nedan.

A1. Magnesiumoxidcement baserat på magnesiumkarbonat, *Eco-Cement*

I stället för att utgå från magnesiumsilikat som i *Novacem* utgår man från magnesiumkarbonat, företrädesvis det i naturen förekommande mineralet magnesit. Detta upphettas till ca 750°C. Därvid släpps en stor mängd koldioxid ut. Den producerade magnesiumoxiden mals i varmt tillstånd direkt efter ugnen varvid det hävdas att reaktiviteten ökas.

Den bildade magnesiumoxiden blandas med portlandcement. Produkten säljs under namnet *Eco-Cement*. Magnesiumoxiden reagerar med vatten och bildar brucit ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). Denna reagerar snabbt med luftens koldioxid förutsatt att relativa fuktigheten är hög och betongen permeabel. Det hävdas att *Eco-Cement* kan ta upp lika mycket koldioxid som släpptes ut under tillverkningen. Cementet skulle därför vara CO_2 -neutralt bortsett från den CO_2 som släpps ut vid tillverkningen av det portlandcement som ingår i cementet. Det är svårt att förstå vad vinsten är med *Eco-Cement* eftersom även permeabel portlandcementbetong karbonatiserar på motsvarande sätt. Enda påtagliga vinsten skulle därför vara den lägre tillverkningstemperaturen (750°C i stället för 1400°C) vilket ger mindre CO_2 -utsläpp.

En vidareutveckling av cementet marknadsförs under namnet *Tec-Cement*. I detta blandas även puzzolana material som masugnsslagg och flygaska in, vilket bör minska behovet av portlandcement och som därför ger cementet en bättre ömiljöprofil.

Cementen uppfanns på Tasmanien och det har enligt uppgift fått viss användning i Australien, troligen mest inom betongvaruindustrin. Produktionskapaciteten bör vara begränsad vilket innebär att cementen inte kan konkurrera ut Portlandcement i någon större omfattning.

Inga egenskaper hos betong med cementet, t.ex. hållfasthet och beständighet, finns dokumenterade.

A2. Belitcement

Huvudkomponenterna i portlandcement är tri-kalciumsilikat (alit) och di-kalciumsilikat (belit). Normalt är mängden alit ca 3 gånger högre än mängden belit. Orsaken till den högre halten alit är att belit har betydligt lägre reaktionshastighet vilket gör ett *rent* belitcement svåränvänt inom konventionell betongteknik. Den miljömässiga fördelen med belit är att det kräver betydligt lägre tillverkningstemperatur än alit samtidigt som mindre mängd kalksten behöver kalcineras, dvs. koldioxidemissionen minskar påtagligt.

Genom sintring av en blandning av aluminiumhaltiga industriella restmaterial som flygaska, gips och kalksten vid temperaturen 1200-1250°C i roterugn skapas en klinker som består av faserna; (1) kalcium-sulfo-aluminat (CSA), (2) belit dvs. di-kalciumsilikat (C_2S), (3) kalciumferroaluminat (ferrit). Den lägre temperaturen och den mindre mängden kalksten medför en energibesparing som enligt uppgift kan uppgå till 25% och en minskning av CO_2 -emissionen med ca 20%. Cementet har tillverkats i Kina under mer än 30 år.

¹⁰) Pal Chana: *Low carbon cements: The challenges and opportunities*. Ingår i konferensen refererad i Fotnot 1.

Enligt uppgift är hållfastheten likvärdig med portlandcement. Man kan dock förvänta en långsammare tidig hållfasthetstillväxt.

Det finns alternativa metoder att producera olika typer av belitcement.

A3. Celitement

Mono-kalciumsilikat (CS) förekommer i naturen i olika former, t.ex. som Wollastonit, ett fibröst material. Det förekommer även som en fas i masugnsslagg. Celit kan även tillverkas artificiellt genom sintring av kalksten med ett kiselhaltigt material.

Celit är så gott som icke-reaktivt med vatten och kan därför inte användas som cement. Vid Karlsruhe Tekniska Högskola har man i samarbete med cementföretaget Schwenk utvecklat ett reaktivt cement innehållande celit, vilket marknadsförs under namnet *Celitement*.

Utgångsmaterialet är kalksten och ett kiselhaltigt mineral (t.ex. sand). Kalcium/kisel-förhållandet kan varieras mellan 0,5 och 2. Råmaterialet blandas med vatten och uppvärms i en autoklav vid temperatur mellan 150 och 300°C och vid 100% RH. Därvid bildas kalciumsilikat-hydrat (ett slags kalksandsten). Produkten blandas med ett annat kiselhaltigt material. Blandningen aktiveras genom malning. Slutprodukten, som kallas *Celitement*, består av hydrauliskt aktiva hydrosilikater med kalcium/kisel-förhållande mindre än 2, dvs. cementet består av viss mängd celit. Mängden kan troligen varieras genom variation i råmaterialets sammansättning.

Upphovsmännen hävdar att cementet kan användas som normala cement. Egenskaper hos betong tillverkad med *Celitement* har inte redovisats offentligt. Den nödvändiga autoklave-ringen medför att produktionskapaciteten av *Celitement* borde vara begränsad

A4. Alkaliaktiverad slagg ñ ôGeopolymercementô

Masugnsslagg, som i sig själv är ett inert material, kan fås att reagera snabbt om reaktionen aktiveras av något alkaliskt ämne, t.ex. soda, natriumhydroxid, natriumsilikat (ôvattenglasô) eller en kombination av några av dessa ämnen. Produktiden lanserades i Sovjetunionen på 1950-talet. En variant av cementet blev rätt uppmärksammat under 1980-talet då det marknads-fördes av ett finskt företag under namnet F-cement, namngivet efter uppfinnaren Bengt Forss.

Rätt omfattande forskning har bedrivits när det gäller cementtypens egenskaper i betong. Såväl reaktionsmekanismer som produktionstekniska egenskaper, mekaniska egenskaper och långtidsegenskaper har studerats. Översikter över historik och kunskapsläge med omfattande litteraturreferenser finns publicerade^{11,12}. Trots all denna forskning har cementtypen inte fått något genomslag. Troligen är de produktionstekniska och användningstekniska svårigheterna stora. Även beständigheten har ifrågasatts.

Andra puzzolana material än masugnsslagg kan alkaliaktiveras, t.ex. flygaska av olika slag. Ett samlingsnamn för alkaliaktiverade puzzolaner är ôGeopolymercement.

¹¹) Pacheco-Torgal, F., Castro-Gomes J., Jalali, S.: *Alkali-activated binders: A review. Part 1. Historical Background, terminology, reaction mechanisms and hydration products*. Construction and Building Materials, Vol 22, 2008.

¹²) Samma författare: *Alkali-activated binders: A review. Part 2. About materials and binder manufacture*. Ibid.

A5. Koldioxidabsorption från portlandcementtillverkning

Koldioxid som emitteras vid cementtillverkning av portlandcement kan 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.

Rökgaserna som består av många olika gaser måste först behandlas så att ren CO_2 kan isoleras. Det finns två tekniker för detta:

- *Post combustion*. Rökgaserna blandas med en CO_2 -absorbent inne i en skrubber. Absorbenten och CO_2 separeras därefter från varandra i en regenereringskolonn. Resultatet är en ström av ren CO_2 . Absorbenten återanvänds. Det finns även andra tekniker.
- *Oxy-fuel combustion*. Förbränningen i cementugnen sker med ren syrgas i stället för med luft. Rökgaserna kommer då att bestå av ren CO_2 .

För cementtillverkning är post combustion lämpligast eftersom den inte kräver någon omfattande förändring av cementbränningsprocessen.

Den renade koldioxidgasen utsätts för tryck så att den omvandlas till flytande form. Vätskan pressas ned på stort djup i marken eller i havet där den förblir flytande på grund av trycket.

Reningsteknik är under utveckling på många håll.