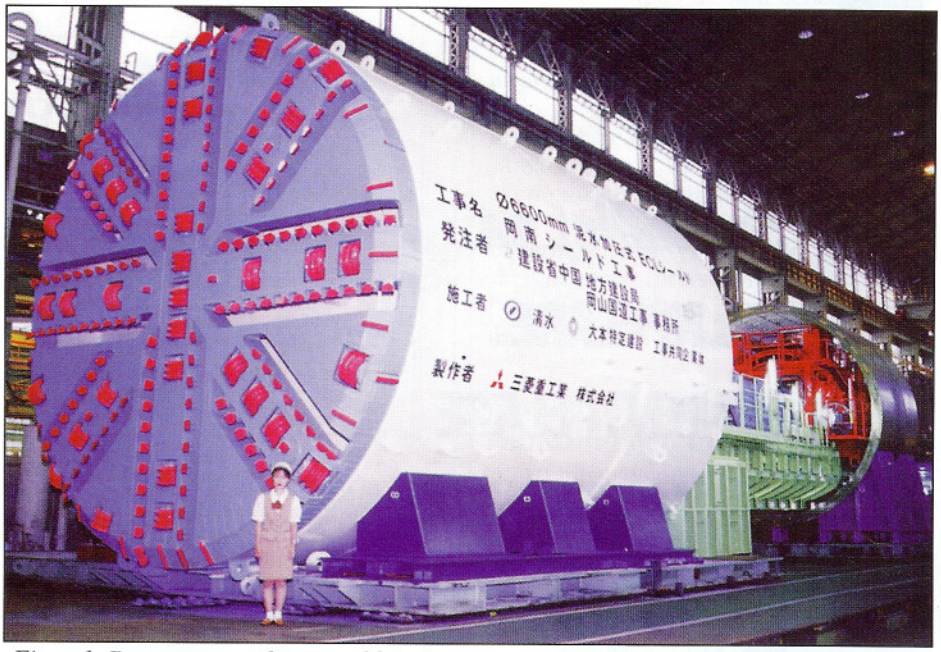
Tunnel genom vattenförande sediment – utan föregående injektering. Bygg & Teknik 1/99. Stockholm. 1999, 28-29.

Tunnel genom vattenförande sediment – utan föregående injektering

I denna artikel beskrivs ett alternativ till den traditionella svenska tunneldrivningstekniken nämligen en tunnel genom vattenförande sediment – utan föregående injektering.

För detta ändamål studerade artikelförfattaren i detalj en i det närmaste färdigställd tunnel under staden Okayama, Japan, dels under mars, 1998, dels under juni samma år.

Metoden går ut på att fabrikstillverkad stålfiberarmerad självkompakterande betong extruderas omedelbart efter det att tunneldrivningen har utförts. Metoden säkerställer tunneln goda bestånd men är inte helt problemfri eftersom smärre vattenläckage uppstod i sprickor efterhand som betongen krymper. En annan nackdel med metoden är den långsamma framdriften, endast cirka tio meter per dygn. Betongen måste nämligen få tid att härda före det att formen kan flyttas vidare framåt.

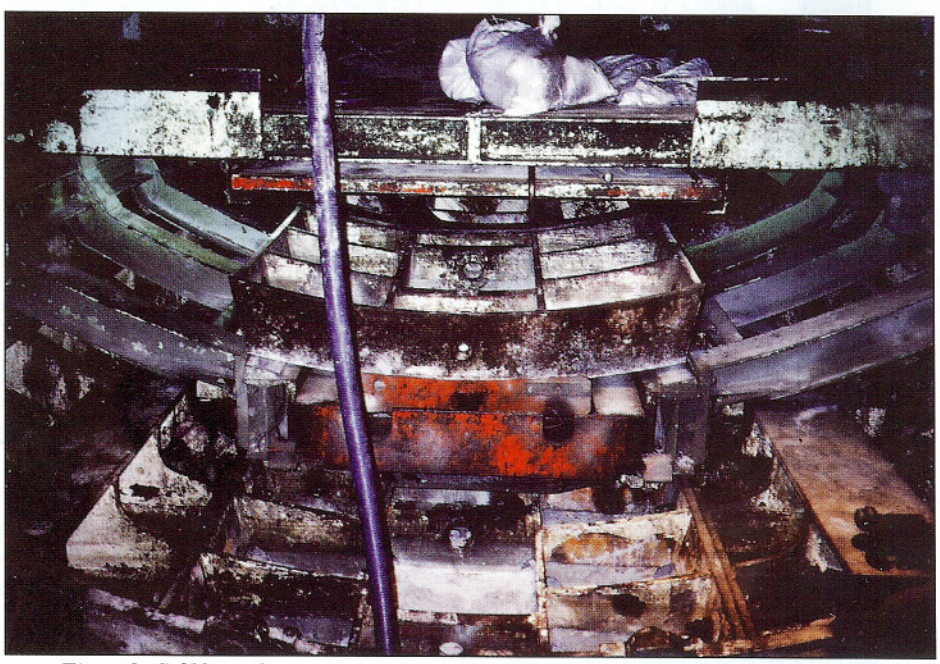


Figur 1. Borraggregat för tunneldrivning genom vattenförande sediment - utan föregående injektering.

Svenskt urberg är oftast av god kvalitet vilket inbjuder till så kallad fullortsdrivning i syfte att öka framdriften samt förbättra arbetsmiljön. (Under mina två år som konstruktör vid ett projekt med borrad tunnel i Peru, hade vi inte ett enda dödsfall då denna metod tillämpades.) För att säkerställa en tunnels goda bestånd är det oftast tillräckligt att förstärka bergets sprickzoner med inborrade fastinjekterade bultar samt att förse bergytan med armeringsnät och sprutbetong. I skånska horstar respektive skånskt kalkberg är emellertid vattenläckaget ofta så stort att en vattentätande injektering dessutom är av nöden. Alternativt måste tunnelområdet helt "sänkas av", dvs en omfattade dränering av grundvatten äga rum. Denna avsänkning kan skada såväl natur som ovanförliggande byggnader, vilka berörs av grundvattendränaget. Ett alternativ till injektering är att borra i marklager med ett begränsat läckage av vatten, jämför tunneln under Engelska kanalen, eller som vid Storebälttunneln, först dränera förekommande lerlager så pass mycket att de blir täta. Vid detta alternativ placerade man sedan förtillverkade betongelement som tätande och bärande skikt. I stället för injektering eller dränering kan, som i Okayama, borrning ske med ett trycksatt borraggregat. Trycket samt en kraftig stålsköld håller vattnet ute intill dess att man successivt har hunnit gjuta ett tätande betongskal i bakre delen av skölden (från fronten räknat).

Tunneln

Tunneln i Okayama är två kilometer lång och borras med ett fullortaggregat med diametern 6,63 m. Marken under staden består av sediment med silt, sand och grus samt upp till 40 cm stora stenar.



Figur 2. Stålform för extruderad stålfiberarmerad självkompakterad betong.



Artikelförfattare är ***Bertil Persson****, Lunds tekniska högskola , Byggnadsmaterial, Lund.*



Figur 3. Betongen förs fram till fronten med en rälsburen vagn, den enda hjultransport som sker i tunneln.

Permeabilitetskoefficienten för sedimenten varierar mellan 0,001 och 0,006 cm/s. Vissa stenar är av porfyr eller granit och dessa kräver speciella åtgärder framför fronten på borraggregatet. För detta ändamål finns det fyra stycken manluckor genom den roterande skiva som sitter längs fram med 35 stycken vassa diskusformade skärverktyg. Då dikusarna rullar över sediment så spräcks dessa och bergflisorna kan sedan pumpas ut genom rör i slurryform. Vattentrycket är dock litet, cirka 5 m gravitationstryck samt ett par meter artesiskt tryck. Tunneln marktäckning varierar mellan 12 och 17 m. För säkerhetsskull drivs hela tunneln under en gata i Okayama i det fall ras eller dylikt skulle inträffa. Tunneln ska sedermera användas för tele-, vatten-, gas- och elledningar [1].

Tabell 1. Recept för extruderad stålfiberarmerad självkompakterad betong (kg/m³)

Grus	Sand	Flyg-aska	Snabb-cement	Stål-fiber	Vatten	Flyt-medel	Viskositets-medel	Flytsätt-mått
530	1130	100	400	80	190	2 %	1 kg/m³	0,6 m

Borraggregat

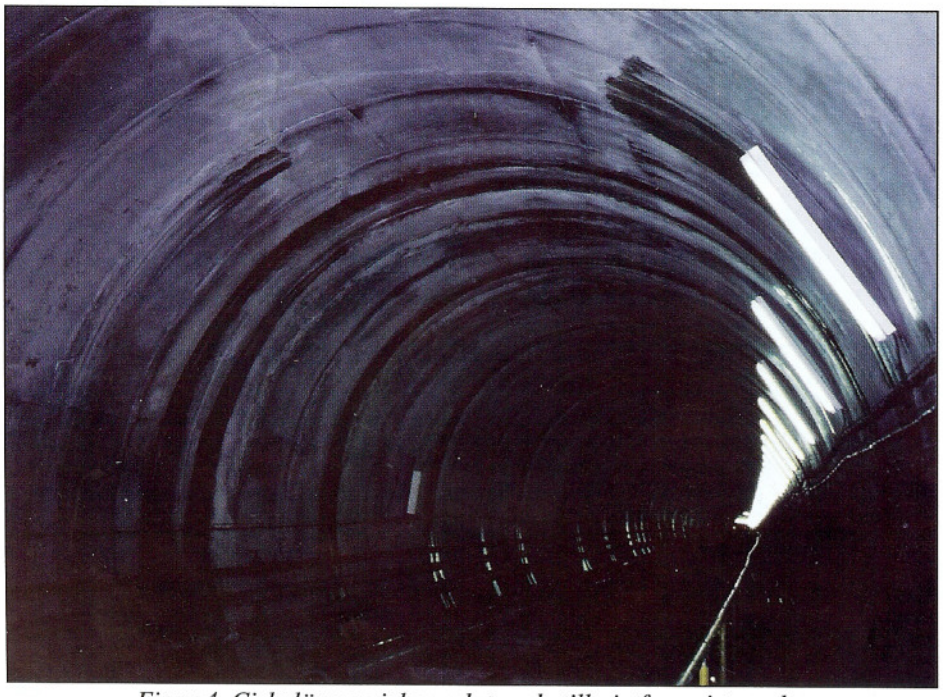
Borrmaskinen är 8 m lång med en främre roterande del på 1/2 m, *figur 1*. Rotationshastigheten var 0,8 varv/m. I borrkronan finns det 35 stycken diskusformade roterande skärverktyg som flisar sönder sedimenten. Fliset sköljs sedan genom springor i borrkronan till rör för vidare slurrytransport till filtrering och utlastning ovan mark upp till två kilometer från tunnelfronten. Den finkorniga delen av materialet används som returslurry som bärare för flis av grövre storlek. Omedelbart efter borrkronan skyddas utrustningen och personalen av en tätslutande treledad 50 mm tjock stålsköld med diametern 6,60 m, dvs 30 mm mindre än den utborrade sektionen. Skölden rör sig med en "vickande" rörelse framåt med hjälp av ett flertal stora domkrafter. På sköldens utsida finns ett antal sensorer för att detektera eventuella ras. I dess framkant finns det dessutom ultraljudavkänning för att kartera variationer i sedimentens kvalitet [1].

Betonginklädnad

Omedelbart efter skölden ansluter 12 stycken cirkulära formar med diametern 6,0 m och längden 1,2 m vardera, figur 1. Den bakersta formen i maskinen demonteras i åtta delsegment som förs på räls framåt för att utgöra stöd för betongen som i sin tur extruderas genom åtta stycken rör, tabell 1 [2], *figur 2*. Betongkostnaden var hög, cirka 3 000 kronor/m³. Tunneln armeras enbart med i betongen ingående stålfibrer, dvs det finns ingen armering genom de gjutfogar som uppstår efter varje dygnsetapp (betongen måste härda innan tunneldrivningen kan fortsättas). Tillsammans med flygaskan ger, det i Sverige tämligen nya, flytmedlet "polycarboxyleter" betongen dess unika karaktär; ingen som helst vibrering erfordras för att erhålla en fullgod kompaktering, något av en önskedröm för en byggplats. Stenseparationen förhindras genom ett viskositetshöjande medel. Betongen förs fram till fronten med en rälsburen vagn, för övrigt den enda fordonstranport som sker i tunneln, *figur 3*. Betong extruderas genom en stoppring som finns mellan skölden och den cirkulära formen. Läget för denna stoppring styrs genom variabelt tryck i de olika rör som förser formen med betong. Stoppringens läge och funktion är sannolikt den mest kritiska delen av projektet. När betongen härdat så utgör det 30 cm tjocka betongskalet ett indirekt och nödvändigt stöd för vidare borrning framåt.

Sprickor

Närmast tunnelfronten är betong i det närmaste sprickfri, dels eftersom krympningen ej kommit igång, dels eftersom borrmaskinen trycker ihop fogarna en bit bakåt i tunneln. Efterhand som krympningen utvecklas uppstår dock cirkulära sprickor relaterade till gjutfogarna i tunneln. Sprickorna är oväntat stora eftersom en del av krympningen troligen är autogen beroende av betongens självuttorkning [3], *figur 4*. En mätning med daggpunktsgivare visade att vattenlagrad tunnelbetong (100 x 100 x 400 mm) redan efter sju dygns vattenlagrad hade självuttorkat till relativa fuktigheten, RF < 90 procent [2]. Denna självuttorkning ger en krympning på cirka 0,01 procent, vilket sammantaget kan förklara de oväntat stora sprickorna, cirka 1 mm. Det resulterande vattenläckaget var dock litet, i det närmaste dropplikt i de flesta av fogarna. Med hänsyn till tunnelns beständighet och från estetiska synpunkt har man dock bestämt att sedermera komplettera tätheten med en inre så kallad "lining" av 200 mm betong. ■



Figur 4. Cirkulära sprickor relaterade till gjutfogar i tunneln.

Referenser

[1] *Kyoji Ehara*. Personlig information. Shimizu Ltd. Hiroshima. 1998.

[2] *Bertil Persson*. Forskningsrapport 1998-04-14. Japanese Society for the Promotion of Science. Tokyo. 1998, 4 sid.

[3] *Bertil Persson*. Autogen krympning i högpresterande betong. Betong 94/2, 17–20, 29.

Tål Bo-01-husen tidens tand? Husbyggaren 4/2001, 8-11.

Tål Bo01-husen tide

AV KONSTRUKTÖR BERTIL PERSSON, DOCENT I BYGGMATERIAL, LTH

Alla vet att husen på Bo01 byggdes under kort tid under mycken stress. I en byggprocess så kort som Bo01s får ofta konstruktören sitta emellan. Han (eller hon) hinner inte detaljera arkitektens sena idéer tills de skall förvekligas i den brutala verkligheten.

Själv drar jag mig till minnes Ideon-bygget i Lund för ca 20 år sedan. Som konstruktör hade jag arkitekten hängande över axeln med de senaste ändringarna kort före det att betongen göts på platsen. Bl a växte Ideons restaurang 60 cm i månaden (men blev ändå för liten). När det gäller Bo01 kan man verkligen ställa sig frågan: är husen beständiga i rådande klimat? Svaret på frågan är givetvis jakande frånsett några uppenbara brister. En mera ingående syn skulle nog avslöja fler småfel. Syftet med detta inlägg är inte att finna fel utan att belysa principer vad gäller beständiga hus.



(Fig 1). På Wihlborgs fasadvägg saknar man en takavslutning eller åtminstone en droppnäsa på en ovanförliggande balkongplatta.

Wihlborgs gula tegelfasad alldeles i hörnet av det stora utställningsområdet ger onekligen ett gediget uttryck av beständigt byggande. Tegel är i allmänhet beständigt, det vet man sedan hundratals år, efter det att man började använda bränd lera istället för ”kline”. Ett krav finns dock fortfarande kvar: vatten får inte ständigt rinna på vare sig en tegel- eller ”kline”-vägg. Då fryser väggen sönder på sikt, speciellt om teglet är lättbränt. På Wihlborgs fasadvägg saknar man en takavslutning eller åtminstone en droppnäsa på en ovanförliggande balkongplatta. Resultatet syns redan nu. En våning av väggen är redan vattenskadad med fula utfällningar som följd. Om det blir ett par rejäla vintrar får väggen göras om och husägaren se om sitt hus vad gäller fel på bakomliggande stomme. Det är nämligen frågan om denna väggkonstruktion tål att vatten rinner in. Normalt är det inte så. (Fig 1).

Lika gul som Wihlborghusets lyser JMs tegelfasad i seniorboendet i andra änden av Sundspromenaden (ett vägnamn som för tankarna till Helsingborgs H 99; i Malmö talar man normalt om havet – inte sundet). Detalje-

ns tand



(Fig 2). På NCCs ”Tegelborgen” avslutats teglet med en stående gipsskiva som går ned i jorden.

ringen på JMs hus är perfekt. Det borde den vara med tanke på priset: 28 500 kr/m^2. Hur är det för övrigt möjligt att priset per kvadratmeter boyta kan bli ca 20 000 kr högre på Bo01 än för de två bostadshus som byggdes på Kv Kapellmästaren, Dirigentgatan, 1999, bara 5 000 m från Bo01 (SOU 2000:44)? Husen på Dirigentgatan är utförda lika gediget som JM-huset: gult fasadtegel, stomme helt i betong varav golven av självtorkande kvalitet, ytmaterial av endera klinker eller parkett. Balkongerna på Dirigentgatan är visserligen mindre men istället två. Man kan välja väderstreck beroende på hur det blåser och solen lyser. För blåser gör det vid havet, så den enorma JM-balkongen lär inte få många besökare så ofta, åtminstone inte av dess seniorägare.

Utegips inte hållbar i jord

I närheten av JM-huset finns ännu ett präktigt tegelhus, ”Tegelborgen”, byggt av NCC. Att huset gör skäl för namnet kan inte förnekas. På golven finns genomgående något kullrig tegelsten som måste bli svår att hålla beständig vad gäller oljor och annan smuts speciellt i kök och entré. Man säger visserligen att teglet skall kunna vaxas men detta är en omständlig procedur som måste upprepas regelbun-

framåt med Yxhult

Yxhult AB tillverkar och marknadsför byggkomponenter och byggsystem. Våra produkter – Ytong lättbetong, Mexi kalksandsten och Ybetong prefabstommar – medverkar till sunda byggnader med bestående värde. Ytong är marknadsledande i världen inom lättbetong och finns representerat i ett 30-tal länder.

Yxhult AB genomför just nu en rad satsningar som bland annat innebär ökade resurser till forskning och utveckling. Förändringsarbetet går under namnet ”Det självklara alternativet” – Yxhult skall vara det självklara alternativet för alla som bygger i norra Europa.

Yxhult AB ingår i PLENA-gruppen. Huvudkontoret ligger i Kumla. Runt om i landet har vi fyra försäljningskontor.

Antalet anställda är ca 280 och vi omsätter omkring 300 MSEK.

Mer information hittar Du på vår hemsida www.yxhult.se.

YXHULT
Det självklara alternativet

Entreprenadchef – region Syd

Vi söker Dig som självständigt och med uttalat resultatansvar vill leda och utveckla region Syd inom vårt entreprenadbolag, Yxhult Entreprenad AB, då vår nuvarande medarbetare kommer att avgå med pension.

Bolaget utför byggentreprenadtjänster åt kunder som bygger i Ytong. Rollen kan skifta mellan huvudentreprenör och underentreprenör. Yxhult Entreprenad ingår i Yxhultkoncernen, omsätter ca 140 Mkr och har 26 medarbetare. Regionkontoret ligger i Dalby.

Du får ett övergripande budget-, drift- och resultatansvar för region Syds entreprenadverksamhet och styr projekt mot uppsatta mål vad gäller tid, kostnad, kvalitet och miljö. Arbetet bedrivs i nära samverkan med Marknadsavdelningen. I Din roll som byggprojektledare medverkar Du i hela processen, från start till slutbesiktning. Du har också en operativ roll som arbetschef för bygglaget Dalby, som är direkt underställda Dig, vilket innebär att Du är med och drar igång projekt på byggarbetsplatsen.

Du är byggnadsingenjör på gymnasie-/ högskolenivå och har flerårig erfarenhet av projektledning inom bygg/entreprenadverksamhet. Du har goda marknadskontakter och kan de entreprenadjuridiska regler som gäller inom byggverksamhet och är van att upprätta kontrakt. Du är utåtriktad, omvärldsorienterad och gillar att påverka och driva saker framåt, såväl vad gäller byggmetoder som att använda olika typer av IT-stöd för att förenkla och förbättra verksamheten. Resor ingår i tjänsten.

Intressant?

För mer information, kontakta Stig Ohlson, Chef Yxhult Entreprenad, 070-640 88 07 eller Bo Andersson, regionchef Syd, 070-592 32 69 eller Urban Sternefors, Personal, 070-658 61 24. Skicka Din ansökan till Personal, Gun Andersson, Yxhult AB, 692 02 KUMLA, alternativt via mail till gun.andersson@yxhult.se, senast den 1 oktober 2001.

det av en fackman. För mycket vax ger dessutom risk för fukt och mögel – det visar flera problem med linoleumgolv. Även husets socklar, som normalt görs i betong har gömts undan och ersatts av tegel. Teglet har dragits ned under jorden, vilket ger beständighetsproblem: fukten från slagregn stannar kvar i väggen för att sedan sugas in i stommen och ge problem. Teglet har avslutats med en stående gipsskiva som också denna går ned i jorden, (Fig 2). Utegips tål bara ett par timmar i vatten – definitivt inte 100 år som Tegelborgen förväntas stå. Efter vattensugning sväller utegips och förlorar sin hållfasthet.

Utegips har även letat sig ned i marken på Skanskas ”Nya Hem” vid Sundspromenaden väl dold bakom fasadmaterialet: målad plywood utom just i hörnet. Där syns att utegipsen redan har svällt ordentligt. Epitetet ”ute” på en gipsskiva är missvisande eftersom enda skillnaden mot innegips är en bestrykning och impregnering med vax i syfte att minska (men inte eliminera) vattensugning (vattenavvisning). Lukt från mögel på utegipsen kan stängas inne mellan plywooden i fasaden och ytterväggen.



(Fig 3). De allra mest utsatta delarna av NCC-byggda Erskinehuset, burspråken, har klätts med fjällpanel vars ändträ ligger an mot putsen, en klassist riskkonstruktion vad gäller röta.



(Fig 4). Bottenvåningen på NCC-huset har klätts med natursten, som lagts mot en bakomliggande dörrkarm – ett ställe som nog kommer att mögla, eventuellt att ruttna.

Beroende av hur tät ytterväggen är kan denna lukt sedan leta sig inomhus. Inne i Nya Hem finns överallt flexibla gipsväggar (huruvida innegips eller utegips används inne i badrummen kände inte guiden till). Enligt Skanskaguiden kan dock allt flyttas runt i lägenheten, även kök och bad. Hur det går med VA-anslutningarna vid en eventuell flyttning berättade inte guiden. Man kan också fråga hur länge plåtsocklarna mot gården på Skanskahuset skall stå emot tidens tand.

Puts på plastväv

Puts är ett annat populärt fasadmaterial speciellt i början av Sundspromenaden. På Ralph Erskines mästerverk, uppfört av NCC, har putsen utförs på Microlight plastväv, föga förtroendeingivande i 100-årsperspektivet. Även här har fasadmaterialet, puts, dragits ned i jorden utan sockel. Puts klarar vare sig fukt eller mekaniska påkänningar vid trädgårdsarbeten i den intilliggande jorden. Man frågar sig också om inte jordfukten kan sugas in i den bakomliggande cellplasten, putsbäraren, åtminstone längst ned i huset. De allra mest utsatta delarna av Erskinehuset, burspråken, har klätts med fjällpanel vars ändträ ligger an mot putsen, en klassist riskkonstruktion vad gäller röta och mögel (Fig 3). På balkongerna i samma hus finns också fjällpanel som, speciellt vid ett innerhörn, förmodligen kommer att ruttna i anslutningen till en stående ribba, ett fel som är enkelt att åtgärda men ovärdigt ett lyxbygge som Bo01. Bottenvåningen på intilliggande NCC-hus har dock klätts med natursten, som lagts mot en bakomliggande dörrkarm – ett ställe som nog kommer att mögla, eventuellt ruttna inom en inte alltför avlägsen framtid. Intill dörrkarmen och bakom naturstenen finns i övrigt cellplast på NCC-huset (Fig 4).

Fönsterbleck av trä samt gröna tak – veritabla riskkonstruktioner

Trä dominerar, av förklarliga skäl, Skanskas Trähus. Fasadkonstruktionen, spontlimmad panel, är hämtad från Schweiz, där dock regn och blåst



(Fig 5). Fönsterblecken i trä på Skanskas Trähus, lär inte klara rötangrepp.



(Fig 6). Gröna tak med takpapp som tätskikt.

är mindre besvärande än på Bo01, en av Sveriges mest utsatta platser från vädersynpunkt. Skanska får nog räkna med ett rejält underhållskonto vad gäller omlimning och ommålning av fasaden. Fönsterblecken, även dessa i trä, lär inte ens klara rötangrepp (Fig 5). För att sköta alla gröna tak får nog husägare på Bo01 anställa en speciell läckageletare och trädgårdsmästare. Gröna tak är en ekologiskt populär konstruktion men tveksam från beständighetssynpunkt. Under den rikligt växande mattan är det i det närmaste omöjligt att finna ett mattsläpp. Dessutom kommer visst vattentryck att uppstå inte minst vid snösmältning och isbildning. Tål verkligen pappen dessa påfrestningar samt jordsyror och rotangrepp i 15-årsperspektivet, en normal garantiperiod för takpapp (Fig 6).

Slutreflektioner

Det är lätt att finna fel på Bo01 vilket inte varit syftet med detta inlägg utan istället att belysa principer för beständiga hus. I stort kännetecknas dock husen på Bo01-området av hög kvalitet med få undantag:

- Många tegelhus saknar socklar av arkitektoniska skäl vilket kan ge fuktskador i fasaden.
- Avtäckning saknas på en tegelfasad vilket också detta kan ge frostskador på fasaden.
- Utegips är inte hållbar om den dras ned i jord (utegips har vaxats jämfört med innegips).
- Puts, som utförs på plastväv, är föga förtroendeingivande i 100-årsperspektivet.
- Puts motstår vare sig fukt eller mekaniska påkänningar från intilliggande jord.
- Takläckage kan bli svåra att finna under jorden på Bo01s gröna tak.
- Fönsterblecken i trä klarar nog ej rötangrepp i ett 100-årsperspektiv.

Underhållskostnaden skiljer givetvis mellan husen beroende av vilken fasad som valts. ❑

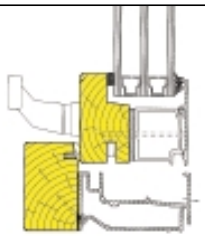
Lemminkäinen

1/4 liggande

4-färg

HFÖNSTRET AB LYSEKIL

453 91 Lysekil • www.hfonstret.se
Telefon 0523-66 54 50 • Telefax 0523-478 74



LYSEKILSFÖNSTRET

- Glidhängt utåtgående
- Bärande delar i aluminium
- Inget väderexponerat trä
- Även kopplade 2+1 (Plats för persienn)
- Varje millimeter är standard
- Överlägsen livslängd

Undvik svartmögel och fukt – bygg med byggfuktfri betong. Byggindustrin. Stockholm. 19/2001, 12.

red@byggindustrin.com

Det går att uppföra ett hus rekordsnabbt och samtidigt rekordbilligt. Förutsättningen är att man använder sig av modern teknik och rätt material. Det hävdar docent Bertil Persson som här framför allt sjunger den byggfuktfria betongens lov.



Bertil Persson

Undvik svartmögel och fukt – bygg med byggfuktfri betong

Många hävdar att korta byggtider och låga byggkostnader obönhörligen leder till problem med svartmögel och fukt. Så behöver inte alls vara fallet.

I Ett nyligen avslutat forskningsprojekt i Malmö, lovprisat av biträdande finansministern och Byggnadskostnadsdelegationen, visades motsatsen. Förutsättningen är att man använder sig av modern teknik och rätt material.

Kv Kapellmästaren i Malmö består av två bostadshus i fem och ett halvt plan uppförda för HSBs räkning 1999. Byggnadskostnaden blev rekordlåg, 8 650:- kr/kvm bostadsyta, allt inräknat. Byggnadstiden, från gjutning av första betongen, till inflyttning var ungefär ett halvt år.

Inga hänsyn togs till betongens uttorkning eftersom byggfuktfri betong användes. Betong tål vatten väl till skillnad från trä som lätt möglar eller ruttnar av fukt. Regn hade ingen inverkan på byggtiden. Byggfuktfri betong torkar till och med under vatten. Dessutom var betongens hållfasthetstillväxt så snabb att formen kunde rivas efter två och ett halvt dygn. Därmed slogs ytterligare ett rekord. Varvtiden mellan bjälklagen blev så kort som en vecka.

BILLIGARE I SLUTÄNDAN

Byggfuktfri betong har funnits på marknaden mer än tio år och använts till minst fem miljoner kvm golv i Sverige och ytterligare en miljon i Finland.

Om alla bostadsgolv i Sverige utfördes i byggfuktfri betong skulle merkostnaden bli cirka 50 miljoner kronor jämfört med kostnaden vid användning av normal betong. Bara på byggfuktsanering lägger man årligen ned betydligt större belopp. Landet största firma på området omsätter cirka 90 miljoner kronor per år på byggfuktsanering, till 90 procent rörande byggfukt från betong.

Till dessa kostnader kommer fuktkonsulternas fakturor, kostnad för mögelhundar, skadeutredningar, etc. Byggfuktfri betong ska bara torkas ut i ytan cirka en månad för att man ska kunna limma ytmaterial. Mellan byggfuktfri betong och ytmaterialet läggs en avjämning av lågalkaliskt bruk. På så sätt bryts inverkan av betongens höga pH på golvmaterialet. Byggfuktfri betong fortsätter att torka vilket ger konstruktionen en ökande fuktsäkerhet.

LYCKAD KOMBINATION

Stommen på Kv Kapellmästaren var inte renodlad allbetong eller förtillverkad utan ett kombinat. Först ställdes dubbla skalväggar på plats med ett omedelbart montage av plattbärlag ovanpå dessa formar. Till fasad användes oisolerade betongelement på vilka sattes isolering och murades tegel i efterhand. Mellan skalväggarna på rekordhuset i Malmö göts betong.

Till bjälklagen användes så hög betongkvalitet att montage av skalväggar ovanpå bjälklagen kunde göras första måndagen efter gjutning.

Alla betonggjutningar utfördes på fredagar, oberoende av väder och vind. Byggfuktfri betong användes även till ett annat bostadsprojektet i Malmö, Kv. Potatisåkern, cirka 22 000 kvm bostadsyta, där merkostnaden blev cirka fyra promille av byggnadskostnaden jämfört med normal. Entreprenören ansåg att extrakostnaden för byggfuktfri betong betalade sig flera gånger om:

- fuktmätningar kunde ställas in
- byggtorkning av golven inte behövdes
- det inte förekom besiktningsanmärkningar beträffande fukt och mögel

KÄLLOR

FAGERLUND OCH PERSSON.
HÖGPRESTERANDE BETONG UTAN BYGGFUKT,
CEMENTA 3/90, 18-19.

L-O NILSSON. ÄR HÖGPRESTERANDE BETONG LÖSNINGEN PÅ FUKTPROBLEMEN?
BYGGFORSK, 1998, 40-41.

B PERSSON. BETONG ANPASSAD FÖR ETT EFFEKTIVT BYGGANDE, BYGG & TEKNIK 7/96, 27-31.

B PERSSON. KOMPATIBILITET MELLAN GOLVMATERIAL OCH BETONG
TVBM-7149. LTH. LUND.

Uttorkning av byggfukt i golvsystem under stålsyllar. Bygg & Teknik. 7/2008, 53-56.

Uttorkning av byggfukt i golvsystem under stålsyllar

Golvsystemen valdes efter omfattande tester och provningar avseende emissioner, fukt och golvbeläggningens vidhäftning till underlaget. Projektet får därför betraktas som en föregångare vid val av golvsystem till sjukhus. Hur noggrant än ett projekt förbereds kan emellertid olyckan vara framme, i detta fall i form av en omfattande vattenskada redan före det att bandet hade klippts till denna kvartsmiljardanläggning. I denna artikel sker en genomgång av tidiga åtgärder, återstående åtgärdsmöjligheter, material och metoder samt kontroll av återställandet. Allra största delen av de bägge vattenskadade bjälklagsplanen uppfyllde efter tre månader ställda krav på uttorkning till en kostnad av cirka fem miljoner kronor.

Skadan inträffade nattetid mellan en fredag och lördag efter det att en klämkoppling till ett rör i värmesystemet hade lossat. Det skadade golvsystemet består/bestod av betonghåldäck, cirka 70 mm högpresterande pågjutningsbetong med vattencementtal cirka 0,40, 10 mm lågalkalisk standard avjämningsmassa, standard polyakrylatlim eller alkalibeständigt lim samt homogen PVC-ytbeläggning [1–7]. Totalt påverkades cirka 220 rum. Slamsugningstjänst sög 5 cm fritt vatten i ena halvan av planen under förmiddagen efter skadan. Svag lutning hos bjälklagen gjorde lyckligtvis att vattnet rann åt ena hållet, nedströms. Läckaget upptäcktes av ett vaktbolag. Saneringsföretaget påbörjade omedelbart lördagens morgon uttorkningsåtgärder. Vattnet hade skadat stomkompletteringar, ytskikt, inredning och installationer på tre plan. Saneringsföretaget upprättade åtgärdsförslag, genomförde kontroller och uppföljning efter uttorkning av fukt i samband med vattenskadan. Åtgärdsförslaget innebar utrivning av skadad inredning, undertak samt kapning av väggar upp till 40 cm från golv inklusive utrivning av blöt isolering. Vatten hade trängt in under trösklar och följt hålkälen mellan en uppvikt PVC-ytbeläggning och stålsyllen varvid gipsskivor hade sugit fritt vatten under viss tid och i det sammanhanget svällt. Fukt instängd under stålprofiler med underliggande 4 mm polyeten tätningsband ingick dock inte i åtgärdsförslaget. Mikrovågstorkning så nära som 5 cm från innerväggar hade dessutom forcerat vatten in under alla stålsyllar i temperaturgradientens riktning. Instängd fukt kan vara en grogrund för bland annat ”sjukhus”-syndromet. Instängd fukt måste därför torkas ut, i synnerhet som fråga var om ett sjukhus. Åtgärdsförslaget innebar fläkttorkning med större torkar i entréplanet (första planet) som förde torr luft in i lokalerna, samt omfattande mikrovågstorkning intill innerväggar, se *bilderna 1 till 8*

Åtgärdsmöjligheter

Följande återstående åtgärdsmöjligheter fanns en månad efter skadan [8]:

1. Beskrivning av det vattenskadade området
2. Utan fortsatt uttorkning av fukt
3. Försegling av vattenskadat bjälklag med epoxi
4. Horisontell uttorkning av fukt under syllar
5. Lodrät uttorkning av fukt under syllar
6. Slutmätning av fukt.

Det beslöts att välja horisontell uttorkning av fukt instängd under stålsyllar samt att referensmätningar av fukt under stålsyllen skulle utföras på ett antal platser med hjälp av uthuggna prover. Vidare skulle uttorkningsklimatet fortlöpande redovisas genom luftfuktmätningar på plats (relativ fuktighet mindre än 30 procent).



Bild 1: Läckage i klämkoppling i undertak.



Bild 2: Större ytor ytuttorkade 4 juni 2007.



Bild 3: Utrivning av väggar upp till 0,4 m.



Bild 4: Fukt instängd under stålsyllar.



Artikelförfattare är ***Bertil Persson****, docent, Bara.*



Bild 5: Innerhörn, fukt instängd under stålsyll.



Bild 6: Innerhörn, fukt instängd under stålsyll.



Bild 7: Rörgenomgång i syll med instängd fukt.



Bild 8: Mikrovågstorkning intill stålsyll.

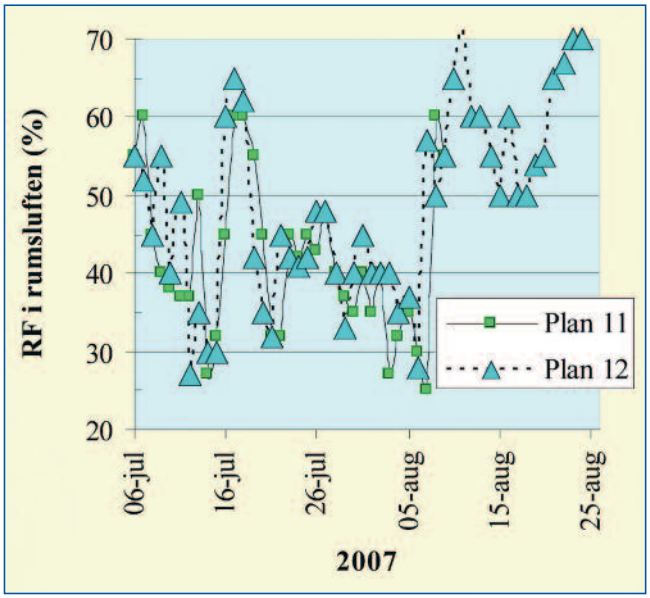
Förutsatt ett omgivningsklimat av 20 grader Celsius och den relativa fuktigheten mindre än 30 procent väntades fukten under stålsyllen nå en relativ fuktighet mindre än 85 procent efter tre månader då slutmätning av fukt dokumenterades före det att ytbeläggning skedde. Efter det att uttorkningen av fukt hade dokumenterats och redovisats för beställaren och entreprenören användes en alkalibeständig, fuktbeständig, vidhäftande fogmassa som lades mellan de bägge gipsskivorna på väggen och avjämningsmassan. Kvalitetssäkring utfördes av denna åtgärd som var av helt avgörande betydelse för risken för mögelangrepp på ovanförstående dubbla gipsskivor. Avsaknad av fogmassa kan enkelt konstateras vid ett eventuellt skadefall framgent. Ytbeläggning med linoleum kunde dock ske direkt vid lösa hålkälar av PVC förutsatt att fukten har torkat ut till en relativ fuktighet mindre än 85 procent i aktuella områden samt att ett alkalibeständigt lim användes. PVC-hålkälen sattes först efter det att uttorkningen under stålsyllen hade dokumenterats samt efter det att en alkalibeständig, fuktbeständig, vidhäftande fogmassa hade lagts mellan golvet och gipsskivorna på väggen.

Mätmetoder, isoterm och noggrannhet

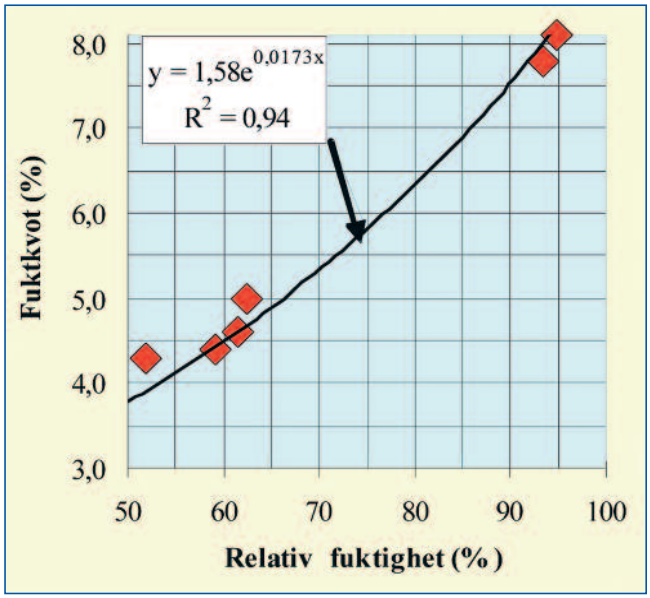
Inledningsvis skedde en kontroll av fukt instängd under stålsyllarna med underliggande 4 mm polyeten tätningsband med hjälp av uttagning av borrprover på plats. Som utrustning användes Vaisala mätprob HMP 44 instucken i de glasrör där provet hade förvarats minst tre dygn före mätning. Efter avslutad mätning av den relativa fuktigheten på uthuggna prover fastställdes fuktkvoten i provet vid 105 grader Celcius på sammanhörande prover i syfte att erhålla isotermen för i första hand avjämningsmassan. Med kunskap om isotermen skedde en omfördelning av fukt under stålsyllen. Platsmätningar utfördes med Protimeter mätprob i hål borrade i 45 graders lutning till 40 mm djup omedelbart intill (utanför) stålsyllen riktade inunder denna [9, 10]. Mätningen skedde i bägge fallen under 24 timmar. Noggrannheten vid mätning på uthuggna prover var plus minus två procent samt vid platsmätning plus minus fem procent. Redovisning skedde av rumsnummer för mätning i förhållande till omgivande rumsnummer, operatör och resultat.

Rumsfuktighet, relativ fuktighet i uthuggna prover och fuktkvot

Från en till två månader efter vattenskadan har den relativ fuktigheten i rumsluften legat mellan 30 och 35 procent [11]. *Figur 1* visar den relativa fuktigheten från och med två månader efter vattenskadan till tre och en halv månader efter vattenskadan, det vill säga medelvärden av relativ fuktighet är lika med 42 procent för första planet och den relativa fuktigheten är lika med 48 procent för andra planet [2–4]. För bägge planen översteg således den relativa fuktigheten i rumsluften vida högsta gräns nämligen den relativa fuktigheten är lika med 30 procent, vilket i sin tur sannolikt förlängde uttorkningstiden.



Figur 1: Den relativa fuktigheten i omgivningsklimatet från och en och en halv månad efter vattenskadan [2–4].



Figur 2: Fuktkvot i avjämningsmassa som funktion av relativ fuktighet inbegripet två procent relativ fuktighet i mätonoggrannhet [5, 6].

Resultat av ett antal fuktmätningar efter uttagning av borrprover användes. I resultatet ingick enligt föreliggande protokoll redan ett tillägg för mätonoggrannhet, två procent relativ fuktighet [12]. *Figur 2* visar resultat av mätningar av fuktkvot i avjämningsmassan efter upphettning till 105 grader Celsius inklusive tillhörande relativ fuktighet inbegripet ett tillägg för mätonoggrannheten, två procent relativ fuktighet, redan omnämnt ovan [13]. Låga värden på den relativa fuktigheten utgör resultat av mätningar utanför det vattenskadade området. Referensmätningar visar att bjälklaget var synnerligen väl uttorkat utanför det vattenskadade området. Referensmätningar gav också ett utomordentligt intressant resultat nämligen att vattenskadan endast hade påverkat underliggande högpresterande betong till ett djup av cirka 50 mm. Å andra sidan kan någon nämnvärd uttorkning inte ske under stålsyllarna ned genom den högpresterande betongen utan beräkningen av uttorkningen kunde ske endast i en riktning: horisontellt.

Relativ fuktighet vid platsmätningar

Figur 2 visar resultat av ett antal fuktmätningar på plats omedelbart utanför stålsyllen. I resultaten ingick inte ett tillägg för mätonoggrannhet, fem procent relativ fuktighet [14]. Fuktmätningarna på plats utgör resultatet av ett medelvärde av den relativa fuktigheten mellan ytan och 40 mm under denna. För vattenskadade områden har därför den relativa fuktigheten i ytan dominerat resultaten av mätningen eftersom underliggande betong har lågt vattencementtal och därmed låg porositet. För icke vattenskadade områden är resultatet av mätningen av föga intresse eftersom fukt från underliggande betong kan ha utjämnats i riktning mot ytan (avjämningsmassan). För vattenskadade områden är mätningsmetoden intressant för att genomföra en omfördelning av fukten över tvärsnittet. Vid för hög relativ fuktighet i förhållande till kravet skedde ommätning i nya borrhål (tre dygn efter borrning).

Beräkning av isoterm och omfördelning av fukt

Ur figur 2 erhölls följande samband för isotermen:

$$FK = 1{,}58 \cdot e^{0{,}0173 \cdot RF} \qquad (1)$$

Ekvation (1) ger fuktkvot lika med 6,9 procent för en relativ fuktighet lika med 85 procent inbegripet två procent relativ fuktighet i mätonoggrannhet. Uppmätt fuktfördelning över väggbredd 110 mm fördelas per väggbredd 152 mm, det vill säga 3 mm utanför livet på gipsskivan. Utanför gipsskivan förväntades samma fukttillstånd råda före fördelningen som i mätpunkten mitt i yttre gipsskivan eftersom mätdata saknades för detta område och eftersom ingen mikrovågstorkning skett närmast gipsskivan. Omfördelning förväntades ske under 15 dygn varefter

beräknat fukttillstånd förväntades råda över bredden 152 mm. Kravet var att den relativa fuktigheten efter fördelning inte fick överskrida 85 procent, jämför Hus AMA Bygg. Eftersom två procent i mätonoggrannhet redan ingick i beräkningen av isoterm tillades endast tre procent de värden för den relativa fuktigheten som erhölls vid platsmätningen. Resultat av den relativa fuktigheten under uttorkningen förutsatte en polynomisk fördelning med graden 2 samt en omfördelningsberäkning av fukttillståndet över tvärsnittet. Till uppmätta värden av den relativa fuktigheten lades mätnoggrannheten, tre procent, eftersom två procent som sagt redan ingick vid beräkningen av isotermen. För aktuella resultat per en och en halv månad efter vattenskadan var således fuktkvoten för hög för att medge ytbeläggning (krav på en relativ fuktighet mindre än 85 procent motsvarade fuktkvot mindre än 6,9 procent för avjämningsmassan). Minskningen genom omfördelningen uppgick således till drygt en procent relativ fuktighet. Kravet på högsta uppmätta relativ fuktighet intill stålsyllen blev därför 77 procent minus 3 procent är lika med 74 procent för första planet samt 75,5 procent minus 3 procent är lika med 72,5 procent för andra planet.

Kontroll av uttorkningsförloppet

Metoden med långsam uttorkning innebar att den relativa fuktigheten under stålsyllarna i vartenda rum i alla fyra riktningar fick kontrolleras, cirka tusen fuktmätningar. Mätningarna företogs med Protimeter daggpunktgivare med låg mätnoggrannhet, plus minus fem procent, varför kravet på uppmätt relativ fuktighetsnivå blev lägre än det skulle ha blivit med en bättre typ av mätprob. Resultat av fuktmätningar i samtliga uppmätta rum [15, 16] gav en bedömning beträffande tidpunkt för en kvalitetssäkrad fogning mellan gipsskivor och golv samt för ytbeläggning med PVC. Med förevarande uttorkningsklimat kunde uttorkningen i ytskiktet av avjämningsmassan mitt under livet av stålsyllen bedömas ha skett med cirka en till två procent relativ fuktighet per vecka. I brist på vidare fuktmätningar mitt under stålsyllen var kravnivån på uppmätt relativ fuktighet i ytskiktet intill stålsyllen för första planet: En relativ fuktighet mindre än 74 procent samt för andra planet: En relativ fuktighet mindre än 72,5 procent inklusive tre procent relativ fuktighet i ytterligare mätonoggrannhet, totalt således fem procents marginal.

Sammanfattning och slutsatser

Huvudproblemet efter vattenskadan var fukt instängd i avjämningsmassa mellan stålsyllar och högpresterande betong. För att undgå rivning av alla innerväggar var endast horisontell uttorkning i avjämningsmasseskiktets riktning möjlig, vilken uttorkning bedömdes ta två månader i anspråk vid en relativ fuktighet mindre än 30 procent i omgivningsluften. En omfördelning av fukten under stålsyllen och de omgivande gipsskivorna var möjlig med hänsyn till att fogmassa lades under gipsskivorna vilka på så sätt inte kunde fuktskadas. I första hand fastställdes därför isotermen för avjämningsmassan. Efter detta kunde omfördelningen göras av fukt under stålsyllarna. Till en omfördelningsberäkning av fukttillståndet över tvärsnittet har lagts mätnoggrannheten, tre procent, eftersom två procent redan ingick vid beräkningen av isotermen. Minskningen genom omfördelningen uppgick till drygt en procent relativ fuktighet. För aktuella resultat var fuktkvoten dock alltför hög för att medge ytbeläggning. Av omfördelningsberäkningen kunde också ett krav på högst uppmätt relativ fuktighet intill stålsyllen fastställas. Den relativa fuktigheten i omgivningsluften har legat över en relativ fuktighet lika med 30 procent, vilket torde ha lett till en försening av uttorkning jämfört med om kravet på den relativa fuktigheten mindre än 30 procent hade uppfyllts i omgivningsluften. Följande slutsatser kunde dras [17]:

1. Efter tre månader kvarstod ett antal punkter att ommäta den relativa fuktigheten i samt saknades vissa mätdata för den relativa fuktigheten.
2. Efter tre och en halv månader kvarstod inga rum på ena planet att ommäta den relativa fuktigheten i, det vill säga samtliga rum inom vattenskadat område bedömdes kunna frisläppas för ytbeläggning.
3. På andra planet kvarstod efter tre och en halv månader ett fåtal rum att ommäta den relativa fuktigheten i.
4. Fuktmätning över en i betongen ingjuten stålbalk visade att relativa fuktigheten är lika med 84,2 procent mindre än 85 procent relativ fuktighet på föreskrivet mätdjup 90 mm efter tre och en halv månader [9–11].
5. Efter fyra månader kvarstod endast ett rum på andra planet att ommäta relativ fuktighet i
6. Efter fyra och en halv månader uppmättes den relativa fuktigheten till mindre än 72,5 procent även i det kvarstående rummet efter en månad med forcerad uttorkning (den relativa fuktigheten är lika med 22 procent vid temperatur 35 grader Celcius) [17]. ■

Referenser

[1] Bertil Persson. *Bedömning av golvsystem till EMB Länssjukhuset i Halmstad,* Rapport U05.13. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 2005, 17 sid.

[2] Europeisk provnorm Peel test , prEN 1372.

[3] Bertil Persson. *EMB Länssjukhus, Halmstad – uttorkning av betonggolv*, Rapport 7:06, Apix Concrete Solutions Kommanditbolag, Apix CCS KB, Halmstad, 2006, 16 sid.

[4] Sarka Langer, Provningsmetod, SP, Borås, 2006.

[5] Bertil Persson. *Golvsystem kan testas i förväg med ny provningsmetod*. Husbyggaren 2/2007, 14–19.

[6] Europeisk provnorm prEN 15052: 2004 (resilient, textile and laminate floor coverings – Evaluation and requirements of VOC emissions), 2004.

[7] Bertil Persson, *Kompatibilitet mellan golvmaterial på betong – utveckling av provmetod*, Rapport TVBM-3131, LTH Byggnadsmaterial, Lund, 2006, 100 sid. www.byggnadsmaterial.lth.se .

[8] Bertil Persson. *EMB Länssjukhuset, Halmstad – bedömning av fuktstatus, uttorkningstider och åtgärdsmöjligheter/val efter vattenskada*. Rapport 3:07, Apix CCS KB, Halmstad, 2007, 23 sid.

[9] Torkel Bäck. Principskiss för syllfuktmätning HSTD Sjukhus 2007-07-05. Halmstad sjukhus. Etapp 2. Munters Torkteknik AB. Halmstad. 2007, 1 sid.

[10] Bengt-Ove Rikardsson. Personlig information. Hallands Län Landsting. 2007.

[11] Torkel Bäck. E-post 2007 -07-05. Munters Torkteknik AB. Halmstad. 2007, 1 sid.

[12] Nicklas Sahlén. Laboratoriebestämning av relativ fuktighet, procent. EMB Länssjukhuset, Halmstad. Protokoll 070628-1-1 och protokoll 070628-1-2. FuktCom AB. Malmö. 2007, 2 sid.

[13] Nicklas Sahlén. Laboratoriebestämning av fuktkvot, procent. EMB Länssjukhuset, Halmstad. Protokoll 070628-1-3. FuktCom AB. Malmö. 2007, 1 sid.

[14] Jörgen Hansson. Personlig information. Munters Torkteknik AB. Halmstad. 2007 -07-03.

[15] Torkel Bäck. Mätprotokoll C ordernummer 21070385 EMB första planet. Munters Torkteknik AB. Halmstad. 2007, 7 sid.

[16] Torkel Bäck. Mätprotokoll C EMB andra planet. Munters Torkteknik AB. Halmstad. 2007, 17 sid.

[17] Bertil Persson. *EMB Länssjukhus, Halmstad – uttorkning av betonggolv,* Rapport 7:06, Apix Concrete Solutions, Halmstad, 2006, 16 sid.

[18] Torkel Bäck. E-post 2007-10-24. Munters Torkteknik AB. Halmstad. 2007, 1 sid.

Uttorkning av byggfuktfri självkompakterande betong efter vattenlagring, vind eller värme. Bygg & Teknik 2005/07, 27-30.

Uttorkning av självkompakterande betong efter vattenlagring, vind eller värme

I artikeln belyses uttorkning vid användning av självkompakterande betong, inverkan av försegling, vattencementtal, vattenlagring, vind eller värme på relativ fuktighet, RF, i ett normaltjockt bjälklag, dels efter härdning vid 8 °C, dels efter 30 °C i härdningstemperatur. Tidig lagring vid 8 °C (som utomhus) förefaller ge en lägre RF än tidig lagring vid 30 °C, vilket kan bero av att en finare struktur utvecklas i betongen vid 8 °C än vid 30 °C.

Sedan 1970-talet har det blivit uppenbart att uttorkningen spelar en avgörande roll för beständigheten hos ytbeläggningar limmade direkt till betong. På senare år har effekten av fukt i viss mån bemästrats med val av material som är mer tåliga för fukt eller framförallt för betongens höga alkalitet, *tabell 1* [1]. Av tabell 1 framgår rekommenderade kombinationer av golvsystem vid en uttorkning till RF = 87 procent vid beläggning av gummi, polyolefin eller homogen PVC samt till RF = 90 procent för golvbeläggningar av linoleum eller PVC med fyllnadsmedel. Syftet med detta försök var att undersöka inverkan av vattenlagring, vct, vind och värme på uttorkningen hos självkompakterande betong, SKB, applicerad som ett normaltjockt bjälklag, 250 mm, dels vid 8 °C, dels vid 30 °C. Försöket utfördes som en laboration inom kursen Byggnadsmaterial FK, LTH Byggnadsmaterial, Lund.

Tabell 1: Rekommenderade kombinationer av golvsystem [1].

Ytbeläggning	***Normaltorkande avjämning***	***Snabbtorkande avjämning***	***Rå betong***
Gummi	Alkalibeständigt lim	Alkalibeständigt lim	Rekommenderas ej!
Homogen PVC	*Standard polyakrylatlim*	*Standard polyakrylatlim*	Alkalibeständigt lim
Linoleum	*Standard polyakrylatlim*	*Standard polyakrylatlim*	Alkalibeständigt lim
Polyolefin (fläkningskraft < 1 N/mm)	*Standard polyakrylatlim*	*Standard polyakrylatlim*	Alkalibeständigt lim
PVC med fyllnadsmedel	*Standard polyakrylatlim*	Alkalibeständigt lim	Rekommenderas ej!

Material och metoder

Uttorkningen studerades för samma betonger som inom ett projekt finansierat av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, om plastisk krympning hos SKB, [2, 3] eller www.byggandsmaterial.lth.se. Kornkurvan för den färska betongen graderades enligt en ideal partikelfördelning. Med ideal partikelfördelning kan bearbetbarheten hos betong förbättras avsevärt utan att cementhalten blir alltför stor. Fuktigt material i försöken förvarades i ståltunnor där absorberad fukt kompenserades vid beräkning av effektivt vct (fukt som inte deltar i cementets hydratation). Medräknas all tillförd fukt blir därför vct cirka 0,02 större än vad som ges i *tabell 2 på nästa sida*. All fukt i flytmedel medräknades dock som fukt i betongen. Materialet blandades först torrt cirka en halv minut i en tvångsblandare samt därefter tillsammans med flytmedel och vatten under två och en halv minut varefter 27 prover med diametern 150 mm och längden 250 mm tillverkades i PVC-rör med ena änden försluten med dubbla lager tjock byggplastfolie och aluminiumfolie. Omedelbart efter gjutning förslöts även rörets andra ände med dubbla lager byggplastfolie och alu-



Bild 1: Provkroppar med inborrade rör för RF-sensorer.



*Artikelförfattare är **Bertil Persson**, Lunds Tekniska Högskola, Byggnadsmaterial, Lund.*

Tabell 2: Sammansättning och egenskaper hos studerade betonger (kg/m³ etcetera) [2, 3].

Material	*Vct = 0,38*	*Vct = 0,43*	*Vct = 0,55*
Makadam 11–18 mm	385	538	431
Makadam 4–8 mm	538	205	425
Sand 0–2 mm	696	713	709
Sand 0–1 mm	98	214	175
Glasfiller		58	58
Byggcement Skövde	484	424	355
(varav kalkstenfiller)	(68)	(59)	(50)
Vatten	184	182	195
Flytmedel	8,8	6,4	2,8
Densitet	2392	2342	2351
Flytsättmått (mm)	660	680	690
Hållf. 28d (MPa), 8 °C	83	70	52
30 °C	72	59	41

Tabell 3: Antal prover och dess uttorkning vid 20 °C, RF = 60 procent, efter härdning en månad.

Vct-temp. (°C)	*0,38-8*	*0,38-30*	*0,43-8*	*0,43-30*	*0,53-8*	*0,53-30*
Försegling	1	1	1	1	1	1
Luft	2	1	2	1	2	1
Vatten, en vecka		2		2		2
Vind, 4 m/s	2		2		2	

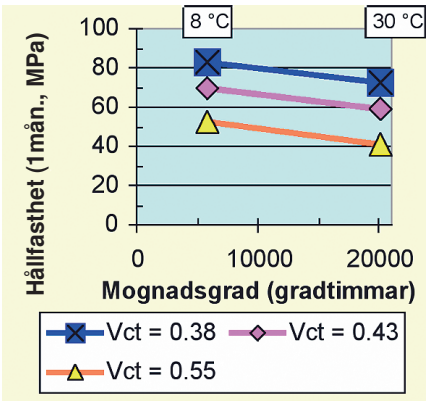
miniumfolie varefter proverna lagrades i 20 °C ett dygn samt därefter en månad i endera 8 °C (utomhusförhållanden) eller 30 °C (inomhusförhållanden med forcerad uttorkning). Antal prover och uttorkningsförhållanden efter härdningen framgår av *tabell 3*. Vid 28 dygns ålder avformades bägge ändar av provkroppen utom för de prover som var förseglade, det vill säga uttorkning skedde dubbelsidigt för golvproverna, uppåt och nedåt. Två prover ur varje betong, vilka härdats vid 30 °C, vattenhärdades en vecka från tre veckors ålder i syfte att simulera tidigt regn eller vattenläckage på betong (vid 20 °C). Vattenhärdningen tillgick så att ena änden av cylindern frigjordes från plast och stacks ned i vatten cirka 5 mm. Kuberna lagrades som de stora golvproverna samt provades vid 28 dygns ålder. Provningen skedde med en pålastningshastighet av 1 MPa/s. Fukt mättes i golvproverna genom inborrade rör på avståndet 50 mm från ytan, det vill säga 20 procents mätdjup för en dubbelsidigt uttorkad provkropp [4]. Mellan mättillfällena förslöts det inborrade mätröret med en gummipropp. Kapacitiva fuktprober nyttjades under ett dygn med kalibrering inom en månad från mättillfället. Kalibreringen av RF-givarna gjordes direkt till mätningarna genom en lineär korrelation. På så sätt undveks avläsningsfel, förväxlingar etcetera. Noggrannheten i RF-mätningarna får anses vara plus minus en procent med denna metod. I samband med fuktmätningen utfördes även vägning av golvprovet.

Hållfasthet och självuttorkning

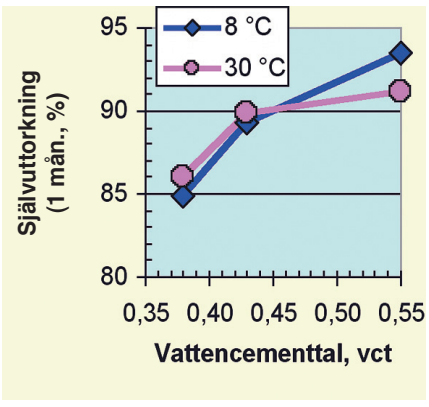
Figurerna 1 till *3* visar resultat av hållfasthet och självuttorkning [4]. Figur 1 visar hållfasthet som funktion av mognadsgrad. Hållfastheten blev högre för lägre mognadsgrad. Figur 2 visar självuttorkning som funktion av vct, dels vid 8 °C, dels vid 30 °C. Självuttorkningen blev något kraftigare vid 8 °C än vid 30 °C. Det är således ingen nytta med att hålla hög temperatur i SKB om man ska dra nytta av betongens självuttorkning, snarare tvärtom. Figur 3 visar självuttorkning som funktion av hållfasthet vid varierande vct. Resultaten är logiska med de i figurerna 1 och 2 [4].

Vattenlagring, vind eller värme

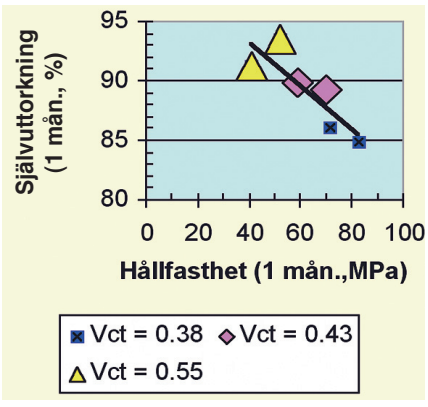
Figurerna 4 till *6* visar effekt av vattenlagring, vind eller värme på betongens uttorkning [4]. Figur 4 visar RF efter en månads uttorkning, dels efter försegling tre veckor vid 30 °C, dels efter försegling tre veckor vid 30 °C följt av en veckas vattenlagring vid 20 °C. En veckas vattenlagring, till exempel i samband med ett läckage under byggets gång, gav cirka fyra procent högre RF betong även vid ett lågt vct = 0,38. Det är därför viktigt att vid uttorkning av betong bemöda sig om att undersöka lågpunkter på ett golv eller i övrigt platser på bygget där läckage kan förmodas ha skett till exempel vid fönster eller vid schakt i huset. Figur 5 visar RF efter en månads uttorkning vid 20 °C som funktion av vct efter förseglad härdning vid 8 °C, dels i stillastående luft, dels med vind 4 m/s. Förseglad härdning vid 8 °C får anses simulera utomhusförhållanden varefter vind kan bli aktuell. Det framgår klart av figur 5 att vind med hastigheten 4 m/s inte hade någon som helst betydelse för uttorkningen hos SKB i likhet med vad som gäller för normal betong, vare sig vid lågt vct eller vid högt. Figur 6 visar RF efter en månads uttorkning, dels efter försegling en månad vid 8 °C, dels efter försegling en månad vid 30 °C. För be-



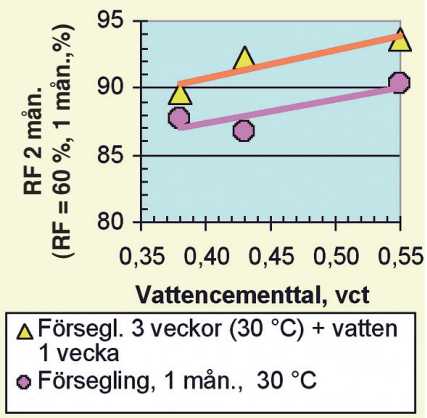
Figur 1: Hållfasthet som funktion av mognadsgrad.



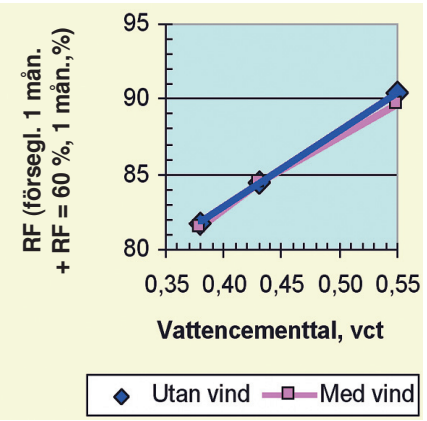
Figur 2:Självuttorkning som funktion av vct, dels vid 8 °C, dels vid 30 °C.



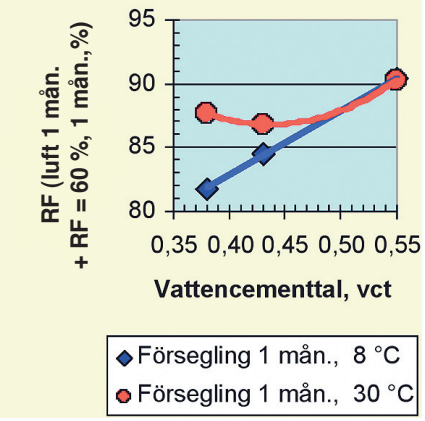
Figur 3: Självuttorkning som funktion av hållfasthet vid varierande vct.



Figur 4: RF efter en månads uttorkning, dels efter försegling en månad vid 30 °C, dels efter försegling tre veckor vid 30 °C plus en veckas vattenlagring vid 20 °C.

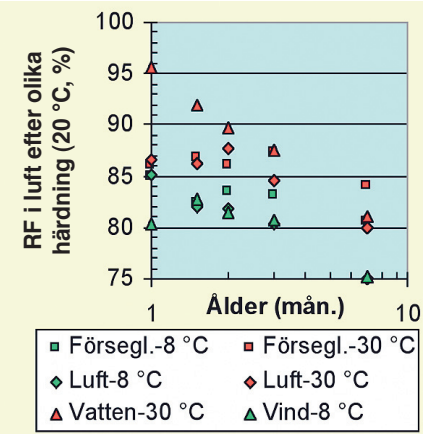


Figur 5: RF efter en månads uttorkning vid 20 °C som funktion av vct, efter förseglad härdning vid 8 °C, dels i stillastående luft, dels i luft med vind, 4 m/s.

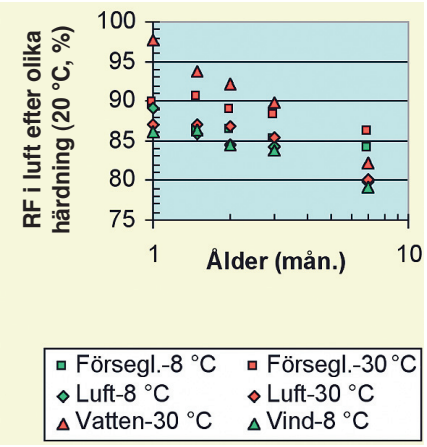


Figur 6: RF efter en månads uttorkning, dels efter försegling en månad vid 8 °C, dels efter försegling en månad vid 30 °C.

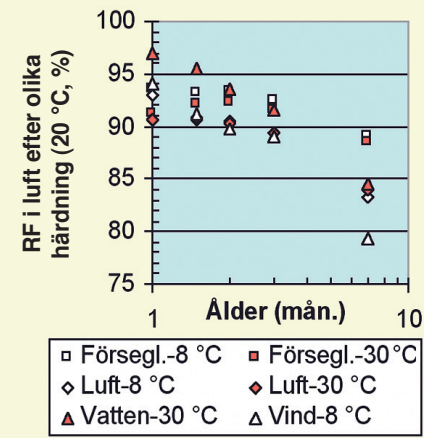
tong med vct = 0,38 och vct = 0,43 märktes vid 8 °C en mera markant effekt av porfördelningen i cementpastan än vid 30 °C, med en ökad hållfasthetstillväxt och vct = 0,55. *Figurerna 7* till *9* visar RF i luft vid 20 °C hos betong med varierande vct efter olika härdning, dels efter härdning vid 8 °C, dels efter härdning vid 30 °C. *Figur 10* visar självuttorkning som funktion av vct, härdningstemperatur och tid. *Figur 11* visar uttorkning som funktion av vct, härdningstemperatur och tid.



Figur 7: RF i luft vid 20 °C hos betong med vct = 0,38 efter olika härdning första månaden, dels vid 8 °C, dels vid 30 °C.

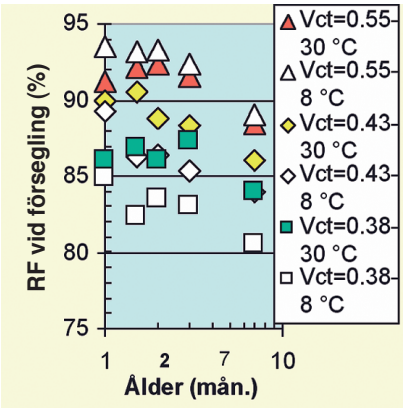


Figur 8: RF i luft vid 20 °C hos betong med vct = 0,43 efter olika härdning, dels efter härdning vid 8 °C, dels efter härdning vid 30 °C.

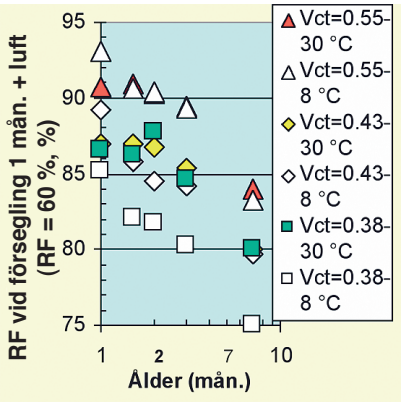


Figur 9: RF i luft vid 20 °C hos betong med vct = 0,55 efter olika härdning, dels efter härdning vid 8 °C, dels efter härdning vid 30 °C.

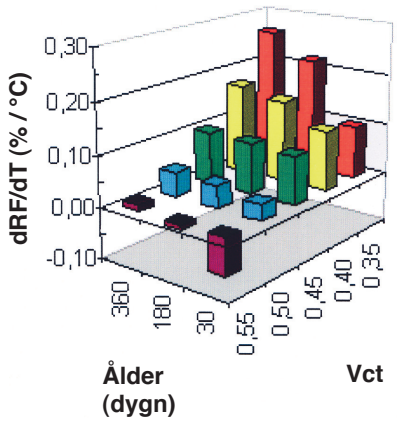
kraftigare självuttorkning vid 8 °C än vid 30 °C som följd, jämför figurerna 2 och 6. Mognadsgraden och därmed hydratationsgraden är däremot lägre efter en månads självuttorkning för betong härdad vid 8 °C än för betong härdad vid 30 °C. Mera ohydratiserat cement fanns således kvar i betong efter härdning lika lång tid, en månad, vid 8 °C än vid 30 °C. Efter en månads ålder, då de bägge betongerna efter de bägge härdningssätten, torkade vid 20 °C, skedde en kraftigare hydratation och därmed kraftigare självuttorkning i betong tidigare härdad vid 8 °C än i betong tidigare härdad vid 30 °C. Effekten av hydratationen på självuttorkningen blev dock markant enbart vid lägre vct = 0,38 och vct = 0,43 eftersom porstrukturen då är finare än vad som är fallet vid



Figur 10: Självuttorkning som funktion av vct, härdningstemperatur och tid.



Figur 11: Uttorkning som funktion av vct, härdningstemperatur och tid.



Figur 12: Inverkan av härdningstemperatur första månaden på RF i betong (procent / °C).

Figur 12 visar inverkan av härdningstemperatur första månaden på RF i betong (procent / °C). Det försprång som erhölls vid härdning vid lägre temperatur bibehölls således även efter lång tid, såväl i självuttorkat tillstånd som vid uttorkning. Mognadsgradsbegreppet är förlegat och kan inte tillämpas på vare sig hållfasthet eller självuttorkning. Det är porstrukturen som avgör det vill säga härdning vid lägre temperatur ger en finare porstruktur än högre härdningstemperatur. Hållfastheten blir därför högre och självuttorkningen kraftigare vid lägre härdningstemperatur än vid högre härdningstemperatur. Inverkan av härdningstemperatur första månaden på RF i betong kan formuleras på följande sätt (procent / °C), figur 12 [4]:

$$dRF / dT = 1 / 22 \cdot ((103{,}2 \cdot (vct)^2 - 96{,}3 \cdot (vct) + 22{,}5) \cdot \ln(t) - 526{,}3 \cdot (vct)^2 + 465{,}6 \cdot (vct) - 101{,}2) \quad (1)$$

där t betecknar ålder (dygn) och T betecknar härdningstempertur månad 1 (°C).

Slutsatser

Vid försöken studerades uttorkningen hos 27 golvprover av SKB med diametern 50 mm och tjockleken 250 mm vid tre olika vct = 0,38, 0,43 och 0,55. Effekten av försegling, vatten, vind och värme studerades upp till sju månaders ålder. Följande slutsatser kunde dras:

- Hållfastheten blev 20 procent högre efter härdning vid 8 °C än efter härdning vid 30 °C.
- Självuttorkningen var kraftigare efter härdning vid 8 °C än efter härdning vid 30 °C.
- Vattenlagring under en vecka gav cirka fyra procent högre RF såväl för SKB med lågt vct = 0,38 och 0,43 som för SKB med högre vct = 0,55.
- Vind hade ingen eller liten inverkan på uttorkningen hos SKB i likhet med vad som är fallet för normal betong utom för ett högt vct = 0,55 där långtidsuppföljningen visade en viss effekt.
- Mognadsgradsbegreppet är förlegat och kan inte tillämpas på vare sig hållfasthet eller självuttorkning.
- Det är troligen porstrukturen som avgör det vill säga härdning vid lägre temperatur ger sannolikt en finare porstruktur än högre härdningstemperatur.
- Hållfastheten blir därför högre och självuttorkningen kraftigare vid lägre härdningstemperatur än vid högre härdningstemperatur. ■

Referenser

[1]. Bertil Persson. *Alkalibeständigt lim, avjämningsmassa och homogen plastmatta bästa kombinationen på betonggolv*. Betong 2/2004, 60–62.

[2]. Bertil Persson. *Plastisk krympning hos självkompakterande betong utan byggfukt*. Rapport TVBM-7176. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 2003, 60 sid.

[3]. Bertil Persson. *Plastisk krympning hos självkompakterande betong utan byggfukt*. Bygg & teknik 2004/07, 41–43.

[4]. Kajsa Ivansson, Sofia Lagerblad, Erika Larsson, Eva Undén. *Uttorkning efter fuktskada samt vindens inverkan på uttorkningsförloppet*. Laboration nr 8, Byggnadsmaterial FK, LTH Byggnadsmaterial, Lund, 2004, 8 sid.

Uttorkning av ytfukt i byggfuktfri betong. AMA-nytt Mark Hus 1/1996, 20-23.

Uttorkning av ytfukt i byggfuktfri betong



Foto: Mari Karlsson

Bertil Persson,
Lunds Tekniska Högskola, LTH

Byggfuktfri betong kan vara en orsak till fuktproblem om inte betongens yta ges tillfälle att torka ut. Före limning av en tät golvbeläggning på underlag av byggfuktfri betong är en ytuttorkning nödvändig för att inte skador eller andra olägenheter skall uppstå.

Denna artikel redovisar vilka fuktförhållanden som gäller i ytnära skikt av byggfuktfri betong samt ger rekommendationer om erforderlig ytuttorkning före limning av plastmattor.

Normal betong torkar ut med en typisk fuktprofil, dvs betongens yta är torrare än dess inre delar under uttorkningen. En byggfuktfri betong har en annan fuktprofil än normal betong vilket medför att den fuktmätning som utförs före läggning av golvmaterial kan bli missvisande.

Hos en byggfuktfri betong äger en stor självuttorkning rum vilket innebär att betongen vid fuktmätning kan erhålla en inre relativ fuktighet, RF, som är acceptabel för läggning enligt tabell Q/3 i Hus AMA 83, utan att ytan på betongen torkat ut. T ex uppvisar betong med ett vattencementtal, vct = 0,22, som förvarats i vatten under 450 dygn en mycket låg RF (ca 82 %) så nära ytan som 50 mm [1]. Kravet för läggning av homogena plastmattor (<85 % RF) enligt fukttabellen i Hus AMA 83 är således uppfyllt, men givetvis kan inte mattläggning ske under dessa förhållanden.

För byggfuktfri betong måste därför fukttabellen i Hus AMA 83 kompletteras för att missförstånd skall undvikas.

Självuttorkningen hos den byggfuktfria betongen innebär att betongens yta under förseglade förhållanden (tät membranhärdning) får samma RF som betongens inre delar. Ytan på betongen får då inte tillräckligt stor fri luftfylld porositet för att medge limning av t ex täta plastbeläggningar.

Då mattlimmet tillförs ytan på en förseglad (membranhärdad) byggfuktfri betong ryms inte den tillförda fukten från limmet i betongens luftfyllda porer. Risk finns då för förhöjda emissioner eller limförtvålning. Vid en byggfuktfri betong krävs därför en ytuttorkning för att limning av en tät golvbeläggning skall kunna utföras utan att olägenheter uppstår.

FAKTARUTA

Med byggfuktfri betong menas en betong med ett lågt vattenbindemedelstal, dvs en mindre mängd vatten i förhållande till bindemedelsmängden (cementmängd och tillsatsmedel) jämfört med vanlig husbyggnadsbetong.

Byggfuktfri betong definieras endera som snabbtorkande (vattenbindemedelstal < 0,38) eller som självtorkande (vbt < 0,32). Som jämförelse kan nämnas att *normal betong* har vbt varierande mellan 0,38–0,85.

Vattencementtalet vct och *vattenbindemedelstalet vbt* är förhållandet mellan vikten av vatten och vikten av cement respektive bindemedel. I bindemedel inräknas cement och tillsatsmedel.

Ett högre vbt gör betongmassan mer lättflytande än en betong med lägre vbt. Normal betong har pga det högre vbt ett större vatteninnehåll vid gjutningen och därmed också större mängd byggfukt vilket kräver längre uttorkningstid.

Den byggfuktfria betongen har en hög självuttorkning. Genom betongsammansättningen där cementet förbrukar en stor del av blandningsvattnet minskar den kvarvarande mängden byggfukt. Merkostnaden för material i form av ökad cementmängd kan kompenseras med tidsbesparing, genom lägre torkkostnader etc.

Fältmätningar [2] visade att RF i en betongplatta på normenligt mätdjup var tillräckligt låg för att medge mattlimning. I stort sett samma RF uppmättes i luften som i betongplattan (senhöst). Eftersom vare sig dörrar eller fönster fanns i byggnaden så stoppades planerna på mattlimning. Fönster och dörrar sattes in samt värmen sattes på. Det rekommenderades vidare att minst 1 månads uttorkning av ytfukt i betongplattan skulle ske innan golvläggning kunde utföras.

Emissionsförsök

I samband med ett omfattande emissionsförsök, limmades plastmattor på betongplattor med en vertikal fuktprofil [3]. Ytan, mot vilken plastmattan limmades, härdades nedåt mot en stålform under det första dygnet efter gjutning. Ytstrukturen blev således osedvanligt tät jämfört med ytan på ett betongbjälklag.

Ytan på betongen (vbt = 0,44), förseglades (membranhärdades) ända fram tills dess att mattlimningen utfördes. Referensbetongen (vattencementtal, vct = 0,69), torkade däremot i ytan före det att mattlimning utfördes.

I samband med mattläggningen uppmättes ca 85 % RF (vbt=0,44) respektive ca 90 % RF (vct=0,69) i betongen på mätdjupet 40 % av plattans totaltjocklek. Då mattläggningen utfördes var referensbetongen med vct = 0,69 betydligt äldre (60 dygn) än betongen med vbt = 0,44 (30 dygn).

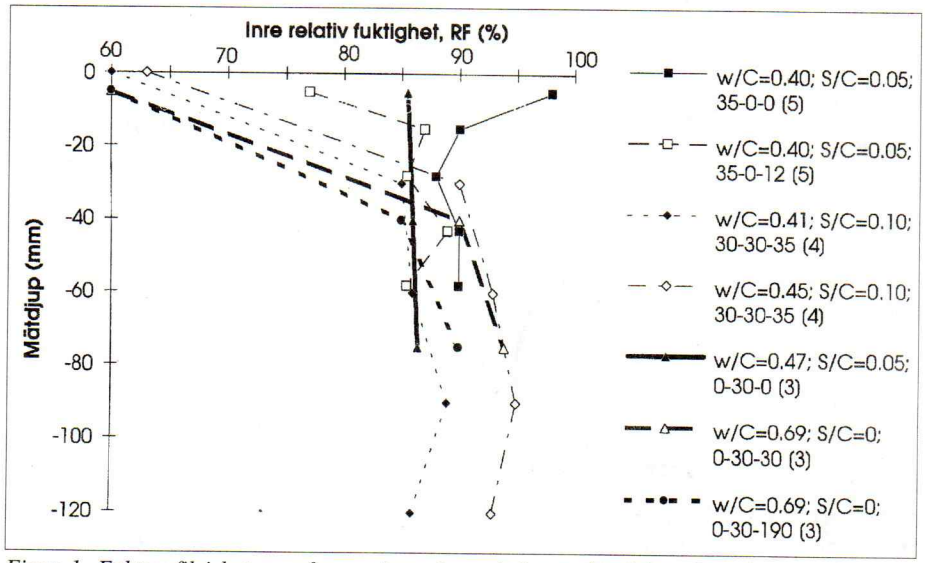
Emissionsmätningar visade att en plastmatta limmad på en ytfuktig betong med vbt = 0,44 (vertikal fuktprofil vid mattlimning) gav upphov till ca 3 gånger så stor total mängd flyktiga organiska föreningar, TVOC, som en plastmatta limmad på den yttorra referensbetongen med vct = 0,69. De förhöjda emissionsvärdena avklingade efter ca 1/2 år.

Ytnära fuktighet i byggfuktfri betong

I syfte att mäta ytuttorkningen i betong efter en så verklighetstrogen härdningsperiod som möjligt härdades olika typer av betong enligt ordningsföljden vatten-försegling-luft under varierande perioder.

Efter härdningsperioden bilades bitar ur betongerna för mätning av RF, [4], [5]. I figur 1 visas fuktprofiler i betong efter varierande härdning med vatten-försegling-luft (dygn). Som referens ges i figur 1 även värden enligt [3] med en RF i ytan med hänsyn tagen till de uppgivna härdningsförhållandena. Vattencementtalet, vct = w/C, samt andelen silikastoft, S/C, ges i figuren.

Ytan torkade ut snabbt på en betong med lågt vct även efter en period av vattenhärdning. Från fuktmättat tillstånd nåddes ca 75 % RF inom 12 dygn. Det föreföll föreligga ett övergångsskikt mellan ytskiktet på en betong med lågt vct och dess inre där ytskiktet mera uppvisade en normal betongs egenskaper.



Figur 1. Fuktprofil i betong efter varierande perioder av härdning. Beteckningar: vatten – försegling – luft (dygn); w/C = vattencementtal; w = blandningsvatten; C = cementmängd; S = mängd silikastoft [3], [4–5].

RF i ytnära skikt av byggfuktfri betong

I syfte att studera den tidiga uttorkningen hos byggfuktfri betong tillverkades 7 st betonger med vct varierande mellan 0,25 och 0,38 [6].

Provkropparna utgjordes av 28 st cylindrar med diametern 56 mm samt längden 300 mm. Geometriskt motsvarade provkropparna ett ensidigt uttorkat betongskikt med tjockleken 15 mm. Skiktet kan antas simulera överdelen i en betongplatta.

Ytan på provkroppen härdades mot stålform fram till 16 timmars ålder.

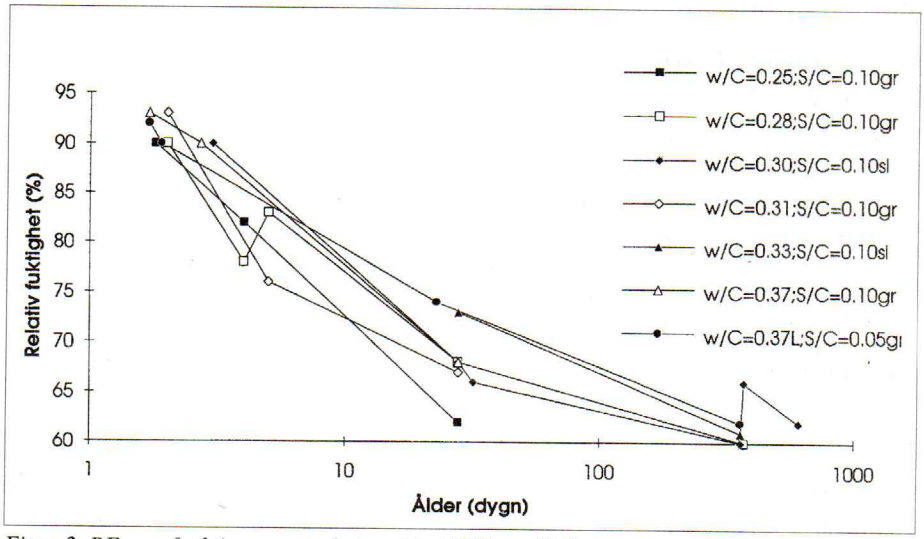
Cylindrarna förvarades liggande varför härdningsriktningen blev allsidig till skillnad från [3] där de obehandlade betongytorna enbart härdades nedåt mot en stålform. Cylinderytan föreföll dock att vara osedvanligt tät jämfört med en fri gjutyta på ett bjälklag utfört i byggfuktfri betong.

Efter avformning vid 16 timmars ålder förvarades cylindrarna i försöket i klimatrum med temperaturen 20 °C och 60 % relativ luftfuktighet.

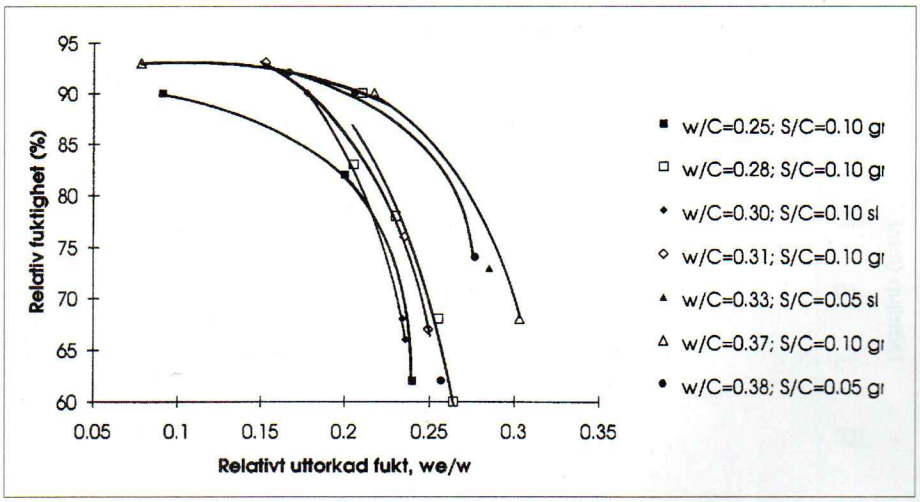
Cylindrarna nedkrossades vid varierande ålder i samband med provning av tryckhållfastheten. Betongbitar ur det inre av de provade betongerna lades i provrör för RF-mätning med daggpunktsgivare.

I figur 2 visas RF som funktion av ålder. I allmänhet erhölls < 80 % RF inom 2 veckor samt < 70 % RF inom 1–2 månader. Uttorkningstiden varierade beroende av vct samt av mängden silikastoft i betongen. De angivna tidsrymderna avser betong med vct = 0,37 samt 5 % silikastoft.

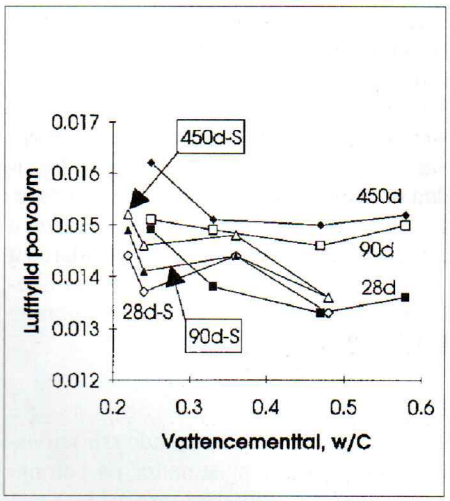
Ytterligare fyra referenscylindrar ur varje betong vägdes kontinuerligt.



Figur 2. RF som funktion av uttorkningstid vid RFo = 60 % (omgivningsmiljö). Beteckningar: w/C = vattencementtal; w = blandningsvatten; C = cementmängd; S = mängd silikastoft; gr = granulat; sl = slurry.



Figur 3. RF som funktion av relativt uttorkad fuktmängd.
Beteckningar: w/C = vattencementtal; w = blandningsvatten; C = cementmängd; S = mängd silikastoft; gr = granulat; sl = slurry; we = uttorkad vattenmängd.



Figur 5. Luftfylld porvolym till följd av kemisk krympning som funktion av vattencementtalet vid varierande ålder.

Uttorkad fuktmängd

I figur 3 visas RF som funktion av relativt uttorkad fukt i betongerna, dvs uttorkad mängd vatten i förhållande till ursprunglig mängd vatten i betongen, w_e/w. I figuren ges w/C = vct samt mängd och typ av silikastoft.

Av såväl figur 1 (välhärdad betong) som av figur 2 (ung betong) framgår att fukten i ett 15 mm tjockt ytskikt av en byggfuktfri betong torkade ut mycket snabbt.

Ur figur 3 beräknades mängden uttorkad fukt i ett 15 mm tjockt skikt av byggfuktfri betong. I figur 4 visas mängden uttorkad fukt i ett enkelsidigt uttorkat ytskikt om 15 mm byggfuktfri betong, dels i RF-intervallet 90–80 %, dels i RF-intervallet 80–70 %.

Ur figur 4, beräknades den uttorkade fuktmängden i 15 mm betong i RF-intervallet 90–70 % (kg/m^2):

$$w_{e,90-70} \approx 0{,}6 \times (w/C - 0{,}1)\{R^2 = 0{,}80\}$$

w/C är vattencementtalet
R^2 är variationskoefficienten

Fuktmängd tillförd vid limning

Vid limning av plastmattor tillförs betongytan ca 0,075 kg vatten per m^2 från limmet [7]. Det är viktigt att en vatten- eller membranhärdad betongyta vid limningstillfället har torkat ut i en sådan omfattning att limfukten kan inrymmas i den tillgängliga porositeten.

Om lim påförs en vatten- eller membranhärdad betongyta då RF är 85 % i betongytan [3] finns risk för limförtvålning eller emissioner [3]. Detta eftersom RF i betongen allra närmast plastmattan sannolikt kommer att överstiga 90 % (pga limfukten) [8] i synnerhet om betongen är tät och innehåller ett överskott av härdningsvatten.

Den tillförda mängden fukt vid limning var dock väsentligt mindre än den uttorkade fuktmängden i RF-intervallet 90–70 %, figur 4. Man bör dock observera att förhållandet mellan avgiven fukt och RF skiljer sig från förhållandet mellan upptagen mängd fukt och RF (desorptions- respektive adsorptionsisoterm). Den vid limningen tillförda mängden fukt var dock större än den vid uttorkning i RF-intervallet 80–70 % avgivna fuktmängden.

Allmänt sett är det önskvärt att minska mängden fukt i samband med limning av plastmattor på byggfuktfri betong i och med att dess struktur är osedvanligt tät.

Luftfylld porvolym

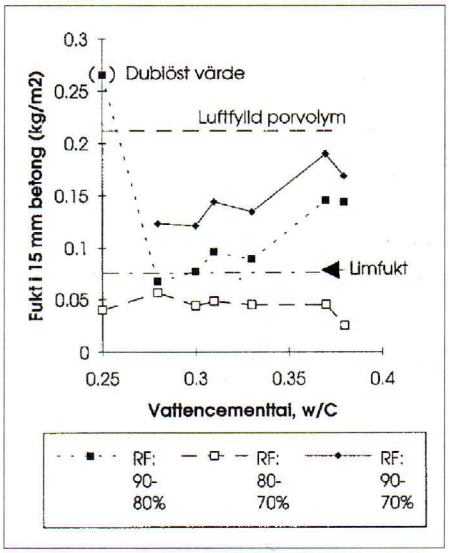
I samband med att vatten binds kemiskt till cement så minskar dess volym med ca 25 %, så kallad kemisk krympning. Därvid uppstår en (luftfylld) porvolym i betongen vilket är en förklaring till att självuttorkningen äger rum [1]. En annan förklaring är den byggfuktfria betongens låga permeabilitet, dvs ytfukt tränger in i betongen först efter lång tid.

I figur 5 visas den till följd av kemisk krympning uppkomna luftfyllda volymen som funktion av vattencementtalet vid varierande ålder [9]. Volymen uppgick till ca 0,014 m^3/m^2 eller ca 0,21 kg/m^2 vatten omräknat till ett 15 mm tjockt ytskikt av betong. Det är dock tveksamt om denna luftfyllda porvolym stod i direkt förbindelse med kapillärporositeten, dvs om den genom självuttorkning uppkomna volymen kan utnyttjas för att uppta limfukt.

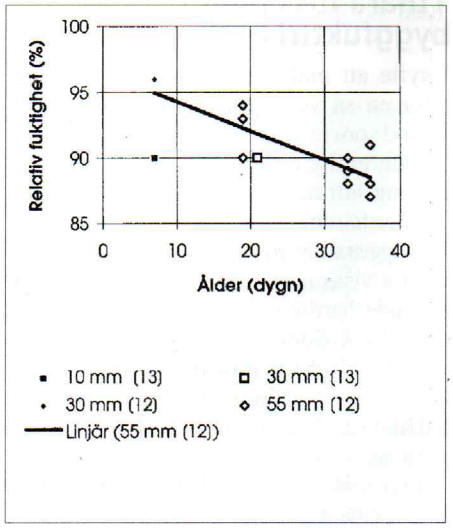
Fukt i flytspackel

Ca 20 % av ytan i de enligt [10] redovisade snabbtorkande/självtorkande betonggolven spacklades [11].

I samband med fältmätningar [12] konstaterades osedvanligt långa uttorkningstider för ett 55 mm tjock skikt av avjämningsmassa som applicerats på ett fukttätt underlag. Ca 5 veckor torktid krävdes för att RF i avjämningsskiktet med säkerhet skulle understiga 90 %. Enligt [13] erfor-



Figur 4. Fukt i ett enkelsidigt uttorkat ytskikt om 15 mm byggfuktfri betong som funktion av vct, dels i RF-intervallet 90–80%, dels i 80–70% RF, dels i RF-intervallet 90–70%.



Figur 6. Relativ fuktighet i flytspackel av varierande tjocklek som funktion av ålder (uttorkningstid, dygn).

dras det ca 3 veckors uttorkningstid för att nå 90 % RF vid ett 30 mm tjock spackelskikt, figur 6.

Denna tidsrymd bör beaktas då valet av metod står mellan å ena sidan byggfuktfri betong med ca 1–2 månads erforderlig ytuttorkning och å andra sidan avjämning av ett ytfuktigt betongunderlag med avjämningsmassa med påföljande uttorkningstid för avjämningsmassan.

Slutsatser och rekommendationer

Ett 15 mm tjockt ytskikt av en byggfuktfri betong innehåller ca dubbelt så mycket fukt i RF-intervallet 90–70 % som ett limskikt. Limfukten torde kunna inrymmas i betongens ytskikt förutsatt att en ytuttorkning sker av betongen till ca 70 % RF.

I samband med cementreaktionen bildas dessutom en luftfylld porvolym i betongen, vilken volym sannolikt kan medverka till att ta upp fukt från limmet.

Följande bör beaktas beträffande erforderlig ytuttorkning av byggfuktfri betong:

1. Mattlimning bör inte ske på enbart membranhärdad (förseglad) betong.
2. Betongytan bör ges tillfälle att torka ut till ca 70 % RF före det att limning av plastmattor utförs, dvs 1–2 månader beroende av torkklimat.
3. Ytprov bör tas ur betongen i syfte att bestämma RF även i betongens ytskikt.

Tilläggas kan att de föreslagna rekommendationerna väl överensstämmer med [14]. Rekommendationerna återfinns dock inte i en allmänt använd vägledning för snabbtorkande betong [15]. De nämnda uttorkningstiderna för ytfukt inryms oftast i ett normalt byggande (men kan utgöra ett problem vid forcering).

Referenser

[1] Bertil Persson. *Högpresterande betongs hydratation, struktur och hållfasthet.* Rapport TVBM-1009. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1992.

[2] Bertil Persson. *Rönnowska skolan, Helsingborg – Uttagning av prover och mätning av fukt.* Rapport U92.08. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1992.

[3] Helene Wengholt Johnsson. *Kemisk emission från golvsystem – effekt av olika betongkvalitet och fuktbelastning.* Publikation P95:4. CTH Byggnadsmaterial. Göteborg. 1995.

[4] Magnus Aevarsson & Aram Rahim. *Högpresterande pågjutningsbetong – uttorkningstider jämfört med normal betong.* Rapport TVBM-5025. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1993.

[5] Bertil Persson. *Ytnära fukt i byggfuktfri betong.* Rapport TVBM-7049. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1993.

[6] Bertil Persson. *Creep of High-Performance Concrete.* Konsortiet HÖGPRESTERANDE BETONG. Rapport M6:28. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1996.

[7] Kaj Schrewelius. Personlig information. BonaKemi AB. Malmö. 1995.

[8] Bertil Persson. *Fukt i snabbtorkande betong.* Rapport U96.04. LTH Byggnadsmaterial. Lund 1996.

[9] Bertil Persson. *Self-desiccation and its importance in concrete technology* (Självuttorkning och dess betydelse inom betongtekniken). Materials and Structures. RILEM. 1996.

[10] Bertil Persson. *Snabbtorkande betong gav ej upphov till sjuka hus.* Tidskriften BETONG. No 3. Bygg & Bo Media AB. Stockholm. 1995.

[11] Herman Thorén. Personlig information. NCC Bygg AB. Helsingborg. 1995.

[12] Bertil Persson. *Fukt i flytspackel.* Rapport U95.02. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1995.

[13] BSAB Q6.5. ABS 9301. Datablad för golvspackel. 1993.

[14] *Snabbtorkande betong – Granskning av informationsmaterial.* Rapport U94.06. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1994.

[15] *Snabbtorkande betong – en vägledning för projektörer.* Cementa AB. 1994.

❑

Vindkraft på land dyr och bullrig. Bygg & Teknik, 2008/05, 70-77.

Vindkraft på land dyr och bullrig

I artikeln görs en genomgång av drifterfarenheter från 500 brittiska vindkraftverk, 680 svenska vindkraftverk samt redovisas kalkyler från 430 projekterade svenska vindkraftverk. För ändamålet studerades officiella redovisningar och rapporter samt prospekt i fråga om i Sverige planerade vindkraftverk. Såväl de brittiska som de svenska inlandsbaserade vindkraftverken visar mycket låg effektivitet. El från havsvindkraft ställer sig dock mer ekonomisk och mindre störande än på land. I Storbritannien är effektiviteten så låg att hela det brittiska energiprogrammet äventyras. Engelsmännen har därför inlett att samarbete med Frankrike i syfte att i stället för vindkraftsel satsa på kärnkraftverk. I slutet av artikeln visas att statliga Energimyndighetens nya mål baseras på "science fiction.

I Sverige är effektiviteten i inlandet endast hälften av den vid en kustnära placering. Projekterade svenska vindkraftverk synes dock ha en avsevärt högre effektivitet än de befintliga, men är i gengäld mycket kostsamma att bygga och svåra underhålla. Projekterad livslängd synes också vara alltför lång med hänsyn till verkligheten. Kostnader för kablage till fjälls och till havs i syfte att leda den producerade elenergin till bebyggda områden respektive till land ingår inte i kostnaderna för vindkraftverk till fjälls och till havs. Inte heller ingår skrotningskostnader för vindkraftverken. Bullererfarenheter från en vindkraftpark i Nederländerna redovisas där så kallade impulsljud har väckt grannars ilska.

Lägre effektivitet än förväntat

Målen för vindkraften i Storbritannien var att producera tio procent av totala elbehovet 2010 samt femton procent av behovet 2015. Bara i Skottland nåddes målet, men då blev överföringsförlusterna till Storbritannien för stora för att lönsamhet alls skulle uppstå med att använda vindkraft. Inte ens på blåsiga Cornwall klarades målet efter en genomgång av 500 vindkraftverk som nyligen gjordes av Renewable Energy Foundation [1]. *Tabell 1* visar effektiviteten hos 500 vindkraftverk i England, Skottland och Wales. Totalt sett var effektiviteten i Storbritannien 24 procent av installerad effekt. I inlandet, Hertfordshire, producerades bara åtta procent av installerad effekt. Slutsatsen i Storbritannien var att vindkraftsmålet endast kunde nås om vindkraftverken placerades till havs intill de städer dit elenergin skulle föras. Eljest gjorde överföringsförluster att målet inte kunde nås. Man behöver inte vara någon större expert för att förstå att det blåser mindre i Sverige än i Storbritannien. Effektivitetssiffror från Vindkraftens investerare och projektörer (VIP) för planerad svensk vindkraftverk, 35 procent, får därför ställas ifråga [2, 3]. Om vindkraftsmålet inte nås i Storbritannien så lär det heller inte nås i Sverige, i synnerhet inte i inlandet. Effektiviteten för vindkraftverk i Sverige är lägre än för den i Storbritannien, cirka 22 procent [4]. Detta är en stor skillnad visavi VIP:s tal om 35 procent i effektivitet. Turbinen på ett vindkraftverk rör sig visserligen för det mesta, men detta är för att den inte ska krokna. Oftast blåser det inte tillräckligt mycket för att installerade effekt ska kunna tas ut. Vid kuling kopplas energin från vindkraftverket ur elnätet. Utan statsstöd torde ingen vindkraftverksturbin alls rotera. Än större statsstöd krävs om de nu 10 000 planerade vindkraftverken kommer att byggas i Sverige. Inte ens tills havs är det längre lönsamt att bygga vindkraftverk till följd av ökande byggkostnader och stålpriser [5].



Artikelförfattare är ***Bertil Persson****, docent, Bara.*

Effektivitet hos svenska verk

Tabell 2 visar produktionsresultat mellan 2001 och 2006 för 672 svenska vindkraftverk. Vattenfalls driftuppföljning av vindkraftverk från och med 2002 till och med 2006 visar att vindkraftens elleveranser i förhållande till installerad kapacitet var 22 procent, varav cirka 16 procent för inlandskraftverk och cirka 27 procent för kustnära. Totalt producerades enligt Vattenfalls driftuppföljning cirka 0,6 terrawattimmar per år över åren från och med 2002 till och med 2006. I Vattenfalls driftuppföljning ingick vindkraftverk med en medeleffekt av 680 kilowatt och en levererad energi av medeltal 0,6 terrawattimmar per år vilken energi i medeltal kunde försörja 30 000 eluppvärmda villor (20 000 kilowattimmar per villa och år), tabell 2. Exempel på vindkraftverk med effektivitet på undre kvartilen är Vestas Värpinge Anna, Bella och Clara, cirka 16 procent, det vill säga typiska inlandsverk. Förvånansvärt nog uppvisade NEG Micons vindkraftverk på Klimpfjäll en effektivitet om endast tretton procent, möjligen

Tabell 1: Effektivitet hos 500 vindkraftverk i Storbritannien.

Plats	***Effektivitet (procent)***
Cornwall	24,1
Wales	23,8
Yorkshire Dales	24,9
Cumbria	25,9
Södra Skottland	31.5
Caithness. Orkney och Shetland	32,9
Öster om Skottland havbaserat	32,6
Kings Langley. Hertfordshire	7,7
Durhamn	8,8
Medelvärde hav	33
Medelvärde inland	8
Medelvärde kustnära	27
Medelvärde totalt	24

Tabell 2: Produktionsresultat mellan 2001 och 2006 för 672 svenska vindkraftverk.

	Medelenergi (terrawattimmar/år)	***Medeleffekt*** (kilowatt)	***Effektivitet*** (procent)
Medelvärde	0,6	689	21,6



FOTO: EVA PERSSON

Bild 1: Vindkraftverk på Lillgrund är betydligt effektivare än de på land.

beroende på driftuppehåll under höstperioden. De tre vindkraftverken på Klimpfjäll gav 2007 en effektivitet av tolv procent, vilket tyder på att enstaka driftuppehåll inte påverkade effektiviteten nämnvärt. Verken om vardera 0,9 megawatt och producerade 2 780 megawattimmar under 2007. Kustnära vindkraftverk hade en effektivitet som låg på övre kvartilen, vilket väl följer från brittiska erfarenheter för brittiska vindkraftverk utanför Skottland. På Utgrunden finns sju vindkraftverk av fabrikat GE med 1 425 megawatt i effekt vardera. Under 2007 producerade de sju vindkraftverken sammanlagt 28 700 megawattimmar, vilket gav en effektivitet av 33 procent. Denna siffra bör jämföras med av vindkraftsprojektörerna uppgivna 38 procent i effektivitet för Utgrundens vindkraftverk. I Holmsund utanför Umeå kördes under hösten 2007 ett splitternytt 3-megawatt vindkraftverk för fullt. Hösten är den blåsigaste delen av året, men effektiviteten blev låg: 27 procent av installerad effekt. Samma effektivitet uppmättes för ett lika stort verk på sydligaste Gotland. Återigen blev effektiviteten lägre än vad VIP utlovade då investeringsbeslutet togs. Så sent som förra året kunde cirka 750 vindkraftverk i Sverige bara producera en terrawattimme, det vill säga motsvarande förbrukningen för 50 000 elvärmda villor. Total installerad effekt var 612 megawatt varav verk med en installerad effekt av 493 megawatt ingår i beräkningen. Ett stort antal produktionsmånader för verk som varit ur drift från årets början och fram till driftsättning har tagit bort från beräkningen, till exempel för Siemens, Lillgrund.

Investeringsbeslut baseras på glädjekalkyler

I framtiden kommer vår natur mer eller mindre att industrialiseras i med och med att 10 000 vindkraftverk på sikt ska byggas i Sverige, *bild 1*. I planeringen finns för närvarande vindkraftverk med en effekt av 2 350 megawatt, vilka spås ge 7,3 terrawattimmar i energi. *Tabell 3* visar effektiviteten och kostnaderna för projekte-

Tabell 3: Effektivitet och kostnader för projekterade svenska vindkraftverk.

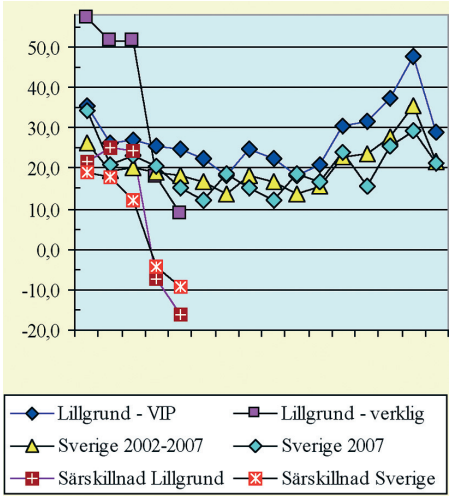
Antal	***Effekt*** (megawatt)	***Energi*** (TWh/år)	***Effektivitet*** (procent)	***Invest-05*** (mkr)	***Invest-07*** (mkr)	***Invest-07*** (mkr/ megawatt)	***Invest-07*** (kr/kilowatt timmar.15 år)	***Tot-07*** (kr/kilowatt immar)	***Bidrag*** (mkr.15år)
Eon Södra Midsjöbanken:									
200	1 000	3,5	40	17 500	21 875	22	0,42	0,83	21 175
Vattenfall Kriegers flak:									
	640	2	36	11 500	14 375	22	0,48	0,96	15 850
Eon Kalmar sund Utgrunden 2:									
	90	0,3	38	1 400	1 750	19	0,39	0,78	1 565
Vattenfall Lillgrund Öresund:									
	120	0,3	29	1 600	2 000	17	0,44	0,89	2 065
Norrland (inland):									
	500	1,2	27	5 500	6 875	14	0,38	0,76	6 010
S:a	***2 350***	***7,3***	***35***	***37 500***	***46 875***	***20***	***0,43***	***0,86***	***46 665***

Beteckningar: kr = svenska kronor; kilowattimmar = kilowattimmar; m = meter; mkr = miljon svenska kronor; Bidrag = erforderligt kapitaltillskott inklusive elcertifikat över 15 år för att vindkraftverken skall runt ekonomisk sett, utan vinst, vid ett medelspotpris av 43 öre/kilowattimme; Invest = ren investeringskostnad utan ränta; megawatt = megawatt; Tot = bedömd totalkostnad inklusive investeringskostnad, ränta 6 procent, underhåll, försäkring och skrotningskostnad; TWh = terrawattimmar, 05 = 2005.

rade svenska vindkraftverk. Enligt denna beräkning från VIP blir effektiviteten för dessa vindkraftverk 35 procent. En genomgång av effektiviteten hos 500 vindkraftverk i Storbritannien som Styrelsen för förnyelsebar energi där har låtit göra, uppvisas dock helt andra siffror, i genomsnitt 24 procent i effektivitet för hela Storbritannien, Cornwall, Orkneyöarna, Shetland, Skottland, Yorkshire och Wales. Det blåser i genomsnitt mycket mer i Storbritannien än i Norrlands inland där VIP anger siffran 27 procent i effektivitet. Inte ens för havsbaserad vindkraftverk öster om Skottland nås de fantasisiffror som VIP har tagit fram. För havsbaserade vindkraftverk utanför Skottland nås 33 procent i effektivitet det vill säga mindre än vad VIP fört fram i genomsnitt för hela Sverige, 35 procent. VIP:s siffror ligger i sin tur till grund för hela den svenska vindkraftssatsningen. Tabell 3 visar även en bedömd totalkostnad inklusive investeringskostnad, ränta sex procent, underhåll, försäkringar och skrotningskostnad. Slutligen ges i tabell 3 erforderligt kapitaltillskott över femton år inklusive elcertifikat för att de planerade vindkraftverken skulle ha gått runt, ekonomisk sett, utan vinst, vid ett medelspotpris av 43 öre/kilowattimme. Elcertifikat är exakt lika stort som den ursprungliga investeringskostnaden, cirka 47 miljarder kronor 2007. Till kalkylbeloppet för projekterad svensk vindkraft kommer okända kostnader för att från fjällen och till havs föra fram vindenergin till bebyggelsen samt vägar till denna.

Analys av Lillgrund

Inför de gigantiska investeringarna i vindkraft som staten står inför grundas dessa på bristfälligt underlag, tills stor del enbart med vindkraftsindustrin som källa. Besluten bör i stället grundas på analys av tillgängliga driftserfarenheter från igångsatta verk. Vid nyåret 2007/2008 hade alla 48 stycken Siemens 2,3-megawatt verk på Lillgrund startats (110 megawatt i effekt totalt), bild 1. Projekterad effektivitet var 29 procent som ett årsmedelvärde. Effektiviteten varierar över året eftersom det blåser mer under vinterhalvåret än under sommaren, *tabell 4* och *figur 1* visar planerad effektivitet hos vindkraftverk på Lillgrund, verklig effektivitet hos vindkraftverk på Lillgrund, verklig effektivitet hos vindkraftverk i Sverige 2002 till 2007, verklig effektivitet hos vindkraftverk i Sverige 2007 samt skillnad mellan planerad och uppmätt effektivitet på Lillgrund. Tabell 4 visar även medelvärden i elproduktion och effektivitet. Under januari till och med mars 2008 uppvisade vindkraftsparken på Lillgrund vid Klagshamn från aerodynamisk synpunkt en nära maximal effektivitet hos ett vindkraftverk (kapacitetsfaktor, utnyttjandegraden i förhållande till maximal teoretisk produktion, 58 procent). Under januari 2008 var effektiviteten praktiskt taget lika med den som någonsin kan uppnås, tabell 4. Under april 2008 störtdök dock Lillgrunds effektivitet. Orsaken till störtdykningen i effektivitet är okänd, om det var byte av elmätare, inkoppling på Svenska Kraftnät, stiltje eller av annan orsak. Under april 2008 låg Lillgrund nämligen 7,5 procent under pari av det förväntade värdet, som, även beaktat lägre vindhastighet i atmosfären, borde ha varit 25,3 procent, men blev endast 17,8 procent för Lillgrundsverken. För maj 2008 erhölls 8,6 procent i effektivitet för Lillgrund, vilket är 16,1 procent lägre än enligt VIP förväntat värde. Trots detta blev dock effektiviteten betydligt högre på Lillgrund än på land, figur 1. Om Lillgrunds produktion för tertial 1 multipliceras med tre erhålls en produktion av 0,144 terrawattimmar per år. Kvarvarande kärnreaktorer i Sverige gav 68,2 terrawattimmar 2006, vilket gör att det krävs drygt 13 Lillgrund för att med Lillgrunds elproduktion under 2008 tertial 1 komma upp på samma energinivå som en endaste kärnreaktor. Med en realistisk elproduktion från Lillgrund torde det gå ett tjogtal Lillgrund per en kärnreaktor i elproduktion. Man ska då betänka att för investering i vindkraft måste motsvarande effekt samtidigt investeras i fossil- eller kärnkraft för att täcka upp då det mojnar. Stamledningarna till Norrland räcker nämligen i till för att snabbt nog överföra el därifrån till Sydsverige till exempel vid vindstilla vinternätter med svår köld. Gångna vinter exporterades till exempel dansk vindkraftsel gratis till Sverige just därför att vindkraftsel inte kan lagras [6].



Figur 1: Effektivitet 2008 för vindkraftverk på Lillgrund. Prognoser för övriga i Sverige baserade verk från 2002 till 2007 (procent).

Turbiner ovanför trädtopparna

Inför den svenska vindkraftsatsningen kommer med stor sannolikhet större verk att användas än nu vanligen förekommande. Tanken från vindkraftsindustrins sida är att turbinerna ska rotera ovanför skogen och att dess friktionseffekt därmed elimineras. Från byggnadsaerodyna-

Tabell 4: Månadseffektivitet för vindkraftverk på Lillgrund och i Sverige (procent).

2008	Lillgrund, VIP*	Lillgrund, verklig	Sverige 2002–2007	Sverige 2007	Sverige 2008	Särskillnad Lillgrund	Särskillnad Sverige
Januari	35,5	57,1	26,4	34,4	45,3	21,6	18,9
Februari	26,2	51,5	19,5	20,8	37,5	25,3	18,0
Mars	27,1	51,5	20,2	23,1	32,1	24,4	11,9
April	25,3	17,8	18,8	20,3	14,4	-7,5	-4,4
Maj	24,7	8,6	18,4	15,2	9,0	-16,1	-9,4
Juni	22,6		16,8	12,1			
Juli	18,4		13,7	18,5			
Augusti	20,9		15,5	16,8			
September	30,5		22,7	24,1			
Oktober	31,6		23,5	15,5			
November	37,4		27,8	25,5			
December	47,7		35,5	29,4			
Medelvärde	29,0		21,6	21,3			

*VIP, Vindkraftens investerare och projektörer.

misk synpunkt är detta ett felaktigt påstående eftersom tillgängligt regelverk anger lägre vindlast för högre höjd vid mer än 15 kilometer från kusten. Möjligen kan turbinen komma 150 m upp i luften, men man bör betänka att avståndet till havet är vida större. Tillgänglig vindenergi kommer för vindkraftverk på rimlig höjd även fortsättningsvis att bli lägre i inlandet än till havs eftersom det blåser längre perioder och kraftigare till havs än ovanför trädtopparna – även 150 m upp i luften. Det kan även vara viktigt att analysera ett för Sverige effektmässigt optimum för vindkraftverk. I Sverige tillgänglig vindenergi på rimlig höjd över marken är väsentligt lägre än till exempel i Storbritannien. Det går således inte utan vidare att ta vindkraftverk avsedda för havsbruk för att placera dessa på land.

Analys av övriga svenska vindkraftverk

Tabell 5 och *figur 2* visar effektiviteten 2007 hos 271 svenska vindkraftverk med en effekt större eller lika med 0,75 megawatt. Analysen har skett oberoende av läge i landet, kustnära eller inte eftersom fråga är om ett mycket stort antal verk. Ett vägt medelvärde av effekten för de 271 verken var 1,22 megawatt samt ett vägt medelvärde av effektiviteten 26,3 procent av installerad effekt. För Lillgrund anges dock 29 procent i effektivitet eftersom längre driftuppföljning saknas. Av figur 2 framgår att Enerconverken har en med ökande effekt minskande effektivitet, vilket sannolikt beror av att verken saknar växellåda. Det vore otänkbart att köra en miljöbil utan växellåda, men så är fallet för vindkraftverk. Följande effektivitetssamband erhölls för 51 Enerconverk i analysen:

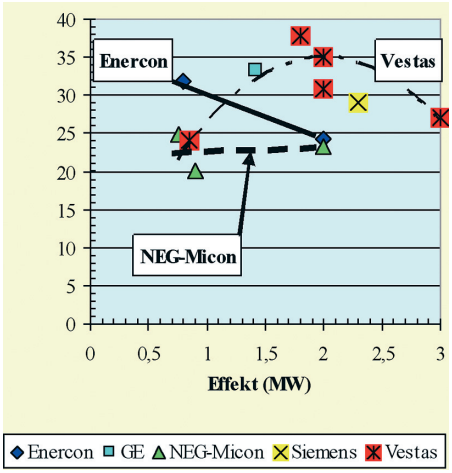
$$\Psi_{Enercon} = -6{,}3 \cdot \Omega + 37 \qquad (1)$$

där Ψ betecknar effektiviteten och Ω effekten (megawatt).

Viktat medelvärde för Enerconverken blev 30,3 procent. Sju GE-verk i analysen med en effekt av 1,425 megawatt hade som nämnts ovan en effektivitet av 33 procent. För 50 NEG-Miconverk erhölls enligt figur 2 22,5 procent i viktad effektivitet, det vill säga ungefär är ungefär lika med effektiviteten för alla svenska vindkraftverk, även små. Vid 0,75 respektive 2 megawatt överensstämde effektiviteten för NEG-Miconverk bra med effektiviteten hos verk från Vestas respektive Enercon. Siemensverken, 48 stycken, har antagits ha effektiviteten 29 procent utom för första delen av 2008 där en särskild analys ges ovan. Vestasverken, 115 stycken, hade en viktad effektivitet av 24,9 procent med ett kraftigt optimum för effekten 2 megawatt enligt följande samband:

$$\Psi_{Enercon} = -8{,}7 \cdot \Omega^2 + 35 \cdot \Omega \qquad (2)$$

Det var enligt figur 2 uppenbart att växellådorna i Vestasverken var till nackdel vid 0,8 megawatt jämfört med Enerconverken utan växellådor, 22 procent i effektivitet före Vestasverken jämfört med 32 procent i effektivitet för Enercons verk. Vid 2 megawatt blev förhållandet precis det motsatta: Vestasverken med växellådor gav 50 procent högre effektivitet än de oväxlade Enerconverken. Vid effekten 3 megawatt räckte vindenergin uppenbart inte till för att på Ostkusten ge verket en rimlig effektivitet, nu endast 27,2 procent.



Figur 2: Effektiviteten 2007 hos 271 svenska vindkraftverk med en effekt större eller lika med 0,75 megawatt.

Livscykelanalyser saknas oftast

Vindkraftverk producerar förnyelsebar energi utan påtaglig miljöbelastning under drift. Tillverkningen av verken innebär dock i sig en stor miljöbelastning. För att avgöra om vindkraftverk bidrar på ett positivt sätt till miljön kan man utföra så kallad livscykelanalyser, LCA. Vid en sådan analys spelar givetvis verkens livslängd en avgörande roll. Då vindkraften började införas i vårt land antog man i brist på faktiskt underlag att verkens livslängd skulle vara mer än trettio år. Uppgifter börjar nu komma in om den verkliga livslängden. Ökande underhållskostnader och höga elcertifikat och subventioner för byggande av vindkraftanläggningar, avskrivningsregler etcetera, gör det lönsamt att ersätta gamla vindkraftverk med nya redan efter femton år eller mindre. Denna utveckling är ett faktum som kan studeras i förhållandevis stor skala vid Näsudden på Gotland, som var den första större vindkraftparken. Där skrotar man nu 20 stycken cirka femton år gamla vindkraftverk för att ersätta dem med sex nya större vindkraftverk. Livslängden för de nya större verken vet man ingenting om i synnerhet inte i havsmiljö med korrosion från saltvatten, iserosion, underhållsproblem vid storm eller orkan, fartygskollisioner, blixtnedslag etcetera. Bara avskrivningskostnaden exklusive ränta för de projekterade svenska vindkraftverken uppgår till 43 öre/kilowattimme vid en rimlig avskrivningstid, femton år. Till denna kostnad kommer erfarenhetsmässigt en ungefärligen lika stor kostnad för sex procent ränta, underhåll, försäkring, stillestånd, speciellt till havs, helikoptertransport, farlig arbetsmiljö och skrotning, det vill säga totalt i storleksordningen 86 öre/kilowattimme. Produktionskostnaden 86 öre/kilowattimme bygger på en hög effektivitet (35 procent), vilken inte har kunnat vidimeras ens för havsbaserad vindkraft utanför Skottland (33 procent). För Norrlands inland torde 35 procent i effektivitet vara helt orealistisk, jfr erfarenheter från Klimpfjäll, vilka redovisas ovan. Med denna obekräftade mycket höga effektivitet, cirka 35 procent, blir totalkostnaden för produktion av vindkraftsenergin 86 öre/kilowattimme vid sex procent kalkylränta och femton års avskrivningstid. I detta belopp ingår bedömda kostnader för försäkring, underhåll och skrotning. Normalt står nätleveratören för överföringskostnader för elenergin till brukaren vid byggande av vindkraftverk. Till fjälls och till havs blir

Tabell 5: Effektiviteten 2007 hos 271 svenska vindkraftverk med en effekt större eller lika med 0,75 megawatt.

Fabrikat	***Effekt*** (megawatt)	***Antal*** (st)	***Effektivitet*** (procent)
Enercon	0,8	40	31,9
Enercon	2	11	24,3
GE	1,43	7	33.3
NEG-Micon	0,75	22	24,9
NEG-Micon	0.9	22	20,0
NEG-Micon	2	6	23,4
Siemens	2,3	48	29,0
Vestas	0,85	107	24,2
Vestas	2	3	30,8
Vestas	1,8	2	37,8
Vestas	2	1	35,1
Vestas	3	2	27,2
Summa/viktat medelvärde	1,22	271	26,3

fråga om helt nya ledningsdragningar till mycket stora kostnader eftersom befintlig infrastruktur saknas. Till havs finns endast möjlighet att överföra elströmmen per kabel. Till fjälls kan även bli fråga om kabeldragning, dels med hänsyn till landskapsbilden, dels med hänsyn till säkerheten i samband med storm eller orkan. Kablagekostnaden från fjällen till bebodda trakter respektive från havet till land ingår inte i VIP:s kalkyl. Skrotningskostnaden för fjäll- eller havsbaserad vindkraft är också okänd, men torde bli hög eftersom fråga är om bortforsling av stora betongplattor, undervattensgjutna fundament, tunga maskindelar i väglöst land respektive till havs etcetera. Veterligt sker heller ingen ekonomisk avsättning av medel för detta ändamål som är fallet för kärnkraft. I vart fall blir produktionskostnaden för projekterad svensk vindkraftsenergi veterligt den högst kända, betydligt högre än för alla andra energiformer.

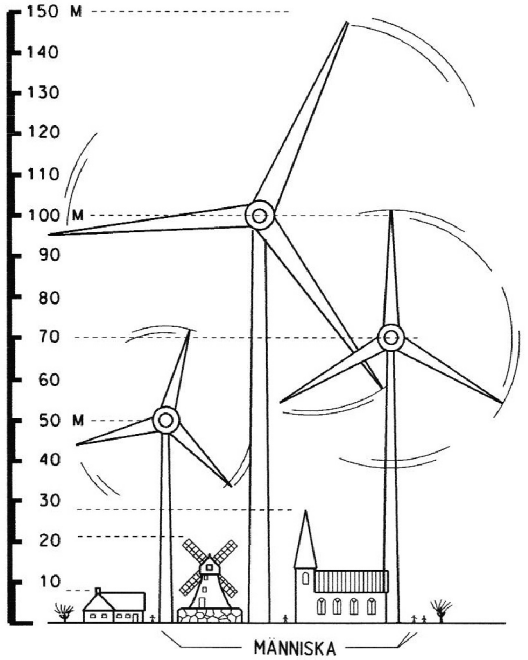


Bild 2: Vindkraftverken dominerar landskapet, men inte samhällets energiförsörjning.
ILL. ANNA LENNERVAD

Bristfälligt underlag skylls på snabb utveckling

Brister på detta område fanns i samband med en ansökan om tillstånd enligt lagen om Sveriges ekonomiska zon för uppförande och drift av 108 vindkraftverk vid Stora Middelgrund, där även följande brister kunde observeras:

- Konstruktionen var okänd
- Grundläggning var okänd
- Effektivitet var okänd.

Av detta skäl ställdes minimikrav att åtminstone följande kompletteringar skulle ske:

- att konsekvenserna av nu föreslagna storskaliga vindkraftetableringar i landskapet utreds
- att rörliga fotomontage visas i siktigt väder med skuggeffekter inlagda samt att fotomontage på samma sätt även visas från Hallands Väderö (saknas helt)
- att vindkraftverkens effektivitet klargörs i ett internationellt och nationellt perspektiv
- att ekonomin för vindkraftverken klargörs med mer realistiska förutsättningar än nu
- att LCA redovisas inbegripet den energikostnad som elcertifikatet genererar.

Havsvindkraft olönsam även med elcertifikat

Ökande stålpriser och byggkostnader kan göra att mer havsbaserad vindkraft inte kan komma att byggas med nuvarande elcertifikat till exempel i Kalmarsund. Under sin livstid är vindkraftverk sedan beroende av elcertifikat. Åldringseffekten beaktas dock inte då elcertifikaten fastställs. Det finns uppenbara problem med minskande säkerhet till följd av förslitning och ökande buller. I Tyskland slog en utsliten propeller från ett vindkraftverk i backen intill ett bostadshus. I Bohuslän uppmättes 10 decibel A högre ljudnivå vid tio års ålder det vill säga mer än en fördubbling av upplevt oljud. Efter tio år fanns inga investeringsmedel kvar utan bara elcertifikatet så det förslitna vindkraftverket fick stängas med hänsyn till miljön då de störde för mycket. Miljöprövningen för vindkraftparker med en effekt under 25 megawatt togs dock efter Naturvårdsverkets förslag bort förra året, men bör återinföras med tanke på att planerade 10 000 vindkraftverk kan komma att få en dominerande inverkan på cirka fem procent av Sveriges yta. I fråga om detaljplaner med vindkraftverk med mindre effekt än 25 megawatt kan kommuner i försättningen svårligen kräva att en miljökonsekvensbeskrivning, MKB, tas fram eftersom vindkraftverk inte längre ingår i begreppet miljöfarlig verksamhet. Den senaste typen av vindkraftverk får dessutom en turbinhöjd av 180 m med ett dominerande synintryck på landskapet inom tio gånger höjden det vill säga inom 1 800 meter från vindskraftverket, *bild 2*. Om alla planerade vindkraftverk byggs i Sverige så kommer deras turbiner att synas praktiskt taget överallt längs de stora vägarna eftersom ekipage med långa masttorn inte kommer in på småvägar.

Olösta problem med korrosion och vinddynamik till havs

Att ställa vindkraftsverken till havs har framkallat andra problem, som man inte alls tänkte på från början, såsom att stolparna blir totalt sett längre, eftersom anläggningarna står på havsbotten [7]. Ju längre stolpar, desto besvärligare blir det med rigiditeten av hela strukturen. En mer gungig stolpe betyder att växellådor och fjäderpaket inte får samma egenfrekvens som anläggningen i övrigt, det vill säga generator, lager, stolpe, vind och växellåda går i otakt vid aparta vindstyrkor. Själva induktorn fungerar som ett kolossalt balanshjul, som rimligtvis inte kan följa med vindens egenfrekvens, jämför med ett gyro. Detta ger upphov till mycket intensiva och oväntade krafter. Vindkraftskonstruktörerna räknade nämligen med statiska förhållanden, men på sjön råder som bekant vinddynamiken – det vet alla seglare. Över vinden råder som bekant inte människan i synnerhet inte över dess egensvängningar. Därför är vindkraftverk till havs en omöjlig konstruktion utan omfattande grundforskning, inte minst från underhållssynpunkt. För att lyfta vissa generatorer på plats krävs till havs pontonkranar av storlek som bara kan räknas på ena handens fingrar, det vill säga vid skador kan verken få stå stilla tills en kran har släpats över Atlanten. Grundforskning tar som bekant många år, ofta en generation, att utföra, cirka trettio år. För närvarande finns akuta problem på följande platser [8]:

- Alla växellådorna på 30 stora Vestasverk på Kentish Flats i Themsens mynning – det är enorma krafter i rörelse när rotorn på ett verk är 90 meter i diameter, har *Tord Östlund*, försäljningschef på Vestas svenska kontor i Falkenberg, konstaterat.
- Problemen med 30 verk i den brittiska vindkraftsparken Barrow Wind i Irländska sjön har gjort att Vestas stoppade försäljningen av nya 3-megawattverk.
- Växellådorna till 80 verk på Horns Rev i Danmark berodde inte på växellådorna, utan ett annat konstruktionsfel, där vinddynamiken inte hade uppmärksammats i tillräcklig grad.
- Siemens tvingades byta lager i växellådorna på verk i Nysted Havmöllepark utanför danska Gedsel – på Nystedsverken strintekar även transformatorerna (48 stycken 2,3-megawattverk på Lillgrund söder om Öresundsbron har turbiner just från Siemens).
- På två av tolv splitternya verk i Kalmarsund har växellådorna redan bytts ut.

Den klorhaltiga atmosfären ger korrosionsskador på lagern etcetera som i sin tur skyndar på utmattningsfenomenen vid frekvensskillnader mellan verk och vind. Långa stillestånd gör en skisserad effekti-

vitet om 40 procent orealistisk – kan inte ens nås då verken är igång, tabell 3.

Mer nattljud från vindkraftverk än förväntat

Sedan starten har boende intill 17 vindkraftverk i Holland klagat över oljud nattetid. Avståndet från vindkraftverken till bostäderna varierade mellan 400 m och 1 900 m. En studie nattetid under 400 timmar över en fyramånadersperiod bekräftade olägenheterna [9]. Cirka 15 decibel A högre ljudnivå uppmättes än förväntat. Tornen, i vilka turbinerna var infästa, är cirka 100 m höga. Vindhastigheten på högre höjd var större än beräknat från mätningarna på tio meters höjd, vilket förklarade skillnaden i uppmätt ljudnivå. Dessutom observerades i Holland besvärande impulsljud från vindturbinerna som väckte de närboende nattetid. Impulsljud beaktas dessvärre inte i Naturvårdsverkets förslag till nya ljudnormer för vindkraftverk i Sverige. Även det svenska förslaget baseras dessutom på en referensnivå av 10 m vilken enligt de holländska erfarenheterna kan ge mycket i Holland stora skillnader mot verkligheten. Mätningarna i Holland understryker ett behov av en årlig besiktning av vindkraftverk där även ljudmätningar på plats ingår – inte bara mätningar på ett tänkt vindkraftverk med tio meters höjd. I Holland beräknades högsta ljudnivå bli 43 decibel A på tio meters höjd det vill säga 3 decibel över Naturvårdsverkets förslag. I stället för detta värde uppmättes nattetid 58 decibel A 750 m från de 100 m höga vindkraftstornen. Ljudmätningar från en turbin till ett vindkraftverk ger oftast inte upphov till besvärande impulsljud. När en grupp av propellrar går i takt så förstärks emellertid impulsljuden eftersom impulsljuden då överlagras. Av de holländska ljudmätningarna framgick klart att det var överlagrade impulsljud från ett fåtal propellrar som ställde till med ljudproblemen. Impulsljud borde därför ha beaktats i Naturvårdsverkets förslag till ljudnormer för svenska vindkraftverk. Trots klagomål om hög ljudnivå vägrade vindkraftsägaren i Holland att lämna ut ljuddata även om löfte om detta hade getts före det att mätningarna startade. Ljuddata från de 17 vindkraftverken fick därför tas fram på de närboende till en avsevärd kostnad för dem.

Kommunal kompetens och integritet

Som ett resultat av en uppvaktning på Näringsdepartementet i regi av Föreningen Svenskt landskapsskydd framgick det klart att ett allt större ansvar för tillståndsgivning i fråga om vindkraftverk åläggs landets kommuner i och med att det endast krävs bygglov, åtminstone för parker av vindkraftverk med en sammanlagd effekt upp till 25 megawatt [10, 11, 12]. Varje kommun har möjlighet att förhindra eller försena vindkraftverk genom att neka bygglov. I Sverige kontrolleras fortlöpande andra miljöstörande anläggningar än vindkraftverk genom myndighetsreglerad återkommande besiktning. Någon sådan besiktning förekommer överhuvudtaget inte vid etablering av vindkraftverk. Inte heller görs återkommande kontroller av att anläggningarna uppfyller kraven. Vid nyetablering görs enligt den nya ordningen bara en MKB vid en sammanlagd effekt av 25 megawatt eller mer om kommunen särskilt så begär, vilken begäran kan vara svår för kommunen att motivera. En MKB tas fram på uppdrag av exploatören. En MKB är en partsinlaga och blir därför ofta behäftad med missvisande uppgifter. Det ankommer sedan i praktiken på de närboende att genom egna undersökningar påvisa eventuella felaktigheter i en MKB alternativt efter byggandet av vindkraftverken uppkomna störningar i form av buller eller roterande skuggor etcetera. Kommuner saknar egen kompetens att objektivt utreda konsekvenserna av vindkraftetableringar och att göra uppföljande kontroller. Det finns exempel på vindkraftverk som i samband med nyetablering fått sina bullernivåer uppmätta av ackrediterade laboratorier på grund av grannklagomål och som då med nöd uppfyllt de uppställda kraven. Vid förnyad kontroll tio år senare uppmättes en bullernivå som var 10 decibel A högre, det vill säga i praktiken mer än en fördubbling av ljudnivån. Vindkraftverk är också utsatta för stora mekaniska belastningar. Det finns exempel på att vindkraftverk fallit omkull, eller tappat vingar som slungats iväg flera hundra meter. Iskastning från vingarna är ett annat välkänt problem liksom oljeläckage till närmiljön. Kontrollen av att vindkraftanläggningar såväl vid nyuppförande som i drift uppfyller gällande miljö- och säkerhetskrav bör överföras till oberoende kontrollorgan. Kommuner uttalar ofta sina egna ambitioner om vindkraftutbyggnad. Dessa beslut i kommunala nämnder och fullmäktige kommer i praktiken att bli styrande för de nämnder, främst miljö- och byggnadsnämnder etcetera som har att utöva myndighetsutövning i bygglovsfrågor etcetera. De nämnda organens ledamöter består också av valda politiker som känner sig bundna av sina respektive partiers ställningstagande i den kommunala processen. Därtill kommer att markägare med intressen i vindkraftutbyggnad ofta har stor politisk representation i de kommuner som är mest utsatta för exploatering.

Värmlandsnäs inferno med 170 stora vindkraftverk

Säffle kommuns andel av nationella vindkraftsmålet kan beräknas med utgångspunkt från dess invånarantal vid utgången av 2007 – 15 973 invånare [13]. Säffle kommuns andel av nationella vindkraftsmålet blir då 52 000 megawattimmar per år. På Värmlandsnäs kan effektiviteten för vindkraftverk med effekten 3 megawatt som högst bli 24 procent efter en analys av produktionen från lika stora verk på södra Gotland och på Holmsund utanför Umeå [14]. Troligen är dock vindenergin i atmosfären lägre på Värmlandsnäs än kustnära på södra Gotland och vid Holmsund till följd av skogens friktion mot vindens rörelser ovanför trädtopparna på Värmlandsnäs. Antal 3-megawattverk som Säffles andel av natio-

nella vindkraftsmålet blir då 8,3 – säg nio stycken, för att kompensera för en något lägre effektivitet på Värmlandsnäs än kustnära. I stället för denna skyldighet om nio verk ligger nu 170 bygglovsansökningar om tillstånd att bygga vindkraftverk inne hos Säffle kommun – bara för Värmlandsnäs. Förutom vissa verk (150 m höga) för vilka en bullerberäkning finns [15] (52,9 dB(A)) kommer andra 200 m höga verk på andra sidan närmaste hus på Värmlandsnäs. Det är svårt att se att det sammanlagda bullret inte kommer att understiga 55 dB(A), snarare blir det 60 dB(A) vid närmaste hus på Värmlandsnäs, vilket innebär att verken inte ens får köras dagtid. Hela Värmlandsnäs blir en enda havsvindkraftpark, fast på land, upp 200 m höga, enligt ansökningshandlingar fram till Valborg, 2008.

Energimyndighetens nya mål "science fiction"

Sverige föreslås enligt Energimyndighetens nya mål ha en vindkraftsproduktion av el om 20 terrawattimmar på land och 10 terrawattimmar till havs, 2020 [16]. Dessa mål bygger på att Sverige ska ha lika stort antal nya vindkraftverk 2020 som övriga EU-länder oaktat Sveriges invånarantal. Myndighetens använder gamla priser på vindkraftverk, men effektivitet som inte har skådats i världen hitintills. Sammantaget blir därför de nya målen väl hoppfulla. Med korrekt underlag blir behovet av subventioner skyhögt, mellan 32 och 45 miljarder kronor per år 2020. Förslaget bygger vidare på att kostnader för el från havsvindkraft skulle vara högre än för el från vindkraftverk på land. I Energimyndighetens nya mål uppgiven effektivitet, upp till cirka 46 procent, har veterligt inte uppnått någonstans i världen, inte ens i Nordsjön utanför Skottland. Efter en genomgång av Energimyndighetens nya mål kan följande slutsatser dras:

- Energimyndighetens nya mål baseras på fyra år gamla priser på vindkraftverk samt på effektivitet (antal fullasttimmar som del av maximal produktion, kapacitetsfaktor, utnyttjandegrad) för vindkraftverk som ännu inte har uppnåtts i världen.
- Med realism i fråga om effektivitet blir totalantalet 2-megawatt vindkraftverk 9 200 i stället för 5 600 2-megawatt vindkraftverk enligt Energimyndighetens nya mål.
- Med nu aktuella priser på vindkraftverk ökar produktionspriset för landbaserad vindkraftsel med 0,99 kronor per kWh samt med 0,78 kronor per kilowattimme till havs jämfört med vad som ges i Energimyndighetens nya mål.
- Om enbart vindkraftverk till havs väljs kan antalet nedbringas till 6 100 (2-megawatt).
- Årliga statliga subventioner för vindkraft om 30 terrawattimmar kan med en lokalisering enbart till havs nedbringas från 45 miljarder kronor till 32 miljarder kronor.
- Före det att Energimyndighetens nya mål kan antas bör frågan om antalet nya fossilkraftverk eller kärnkraftverk för att balansera vindkraftselen utredas grundligt samt även kostnaden för stamnätets utbyggnad.
- Energimyndighetens förslag om "One stop shop" kan rimligen inte genomföras eftersom en enda domare i en rättsinstans inte kan överblicka alla konsekvenser av en vindkraftspark.
- Energimyndighetens förslag att minska remisstiden till en månad skulle innebära att Regeringen kan ta ett förslag efter semestern utan att någon har hunnit se på detta.
- Miljökraven bör skärpas i stället för tas bort för vindkraftsparker, som Energimyndigheten föreslår.

Slutsatser

Efter en genomgång av 1 800 i drift tagna eller nya vindkraftverk kan följande slutsatser dras:

- Brittisk vindkraft hotar att kullkasta Storbritanniens energimål eftersom vindkraftens verkliga effektivitet, 24 procent, var lägre än beräknat i synnerhet i inlandet.
- Svensk vindkraft visar en medeleffektivitet om 22 procent varierande mellan 12 procent i inlandet och 33 procent för kustnära vindkraftverk.
- Vid en vägd medeleffekt för de 271 verk av 1,22 megawatt erhölls ett vägt medelvärde i effektiviteten av 26,3 procent av installerad effekt.
- Investering i elproduktion vid omnämnda låga effektivitet vore otänkbar utan elcertifikat.
- Projekterad svenska vindkraftverk kalkylerar en medeleffektivitet om 35 procent vilken torde vara ouppnåelig eftersom vindkraftverk i Norrlands inland ingår.
- Med en avskrivningstid om femton år, ränta om sex procent, försäkringar, underhålls- och skrotningskostnader får projekterad svensk vindkraft ett pris av 86 öre/ kilowattimme.
- Bidraget för att de planerade vindkraftverken ska gå runt ekonomiskt sett utan vinst, vid sex procent kalkylränta och ett medelspotpris av 43 öre/kilowattimme är exakt lika stort som den ursprungliga investeringskostnaden, cirka 47 miljarder kronor 2007.
- Till kalkylbeloppet för projekterad svensk vindkraft kommer okända kostnader för att från fjällen och till havs för att föra fram vindenergin till bebyggelsen samt vägar därtill.
- Holländska erfarenheter visar högre bullernivå än beräknat till följd av impulsljud.
- Energimyndighetens nya mål 2020 liknar "science fiction" och kräver elcertifikat på en halv biljard kronor för att programmet ska kunna genomföras ekonomiskt sett. ■

Referenser

[1] Charles Glover. *Wind farms are failing to generate the predicted amount of electricity*, The Daily Telegraph. London. 9 dec. 2006.

[2] *Mångmiljardsatsning på vindkraft*. Stockholm TT. SvD. Stockholm. 16 nov. 2005. www.e24.se/dynamiskt/sverige/did_11042090.asp .

[3] Bo Källstrand, Svensk Energi och Matthias Rapp, Vindkraftens investerare och projektörer, VIP. Personlig information. 2005.

[4] Driftuppföljning vindkraft. Vattenfall. 2007 (www.vindstat.nu).

[5] Lars Ettarp. *Remissvar till Miljödepartementet angående ansökan om tillstånd enligt lagen (1992:1140) om Sveriges ekonomiska zon för uppförande och drift av en gruppstation för vindkraft vid Stora Middelgrund*. Föreningen Svenskt Landskapsskydd, FSL, Degerhamn, 2007, 5 sid. www.landskapsskydd.se

[6] Frederik Pedersen. *Danmark forærer strøm væk til udlandet*. politiken.dk/indland/article482145.ece

[7] Lars-Anders Karlberg. *Alla snurrorna måste repareras*. Ny Teknik. 19 sept. 2007.

[8] *Havsvindkraft*. Dagens Nyheter. Stockholm. 23 jan. 2007.

[9] G.P. van den Berg. *Effects of the wind profile at night on wind turbine sound*. Journal of Sound and Vibration. Elsevier Direct. 2007 (under publicering). www.nowap.co.uk/docs/windnoise.pdf.

[10] Lars Ettarp. *Uppvaktning om vindkraftens miljömässiga och energipolitiska följder*. Näringsdepartementet. FSL, www.landskapsskydd.se. Degerhamn. 2007, 4 sid.

[11] Lars-Gunnar Albåge. *Om det aktuella rättsliga ramverket kring vindkraftsetableringar*. Anförande vid FSL:s uppvaktning på Näringsdepartementet 2007-03-16. 2007, 3 sid.

[12] Bertil Persson. *Inlandsbaserad vindkraft industrialisering i smyg*. Husbyggaren 6/2000. 2000, sid. 30-34.

[13] www.saffle.se.

[14] Vattenfalls driftuppföljning för vindkraft. www.vindstat.nu.

[15] Buller från 12 vindkraftverk vid fastighet Torserud 1:26, Säffe kn. 2008. www.landskapsskydd.se.

[16] Statens energimyndighet, Publikation ER 2007:45, ISSN 11403-1892, 2007, 28 sid.

Vindkraftverk och god livsmiljö oförenliga.
Bygg & Teknik 05/2011, 60-67.

Vindkraftverk och god livsmiljö oförenliga

I artikeln görs en genomgång av motiv för vindkraft och dess konsekvenser för livsmiljön. Motiv för vindkraft från regering och myndigheter förs fram. Påverkan på fastighetsvärden analyseras. En genomgång görs av ett tvärvetenskapligt bullerseminarium vid Lunds universitet. Erfarenheter ges från grannar drabbade av vindkraftverk. Artikeln tyder på att ett omvänt laga skifte blir nödvändigt, jämfört med 1800-talets, om vindkraften ska kunna byggas ut med ett planerat mål om 30 TWh per år 2020. För att nå uppsatta mål krävs även en väsentlig utbyggnad av vattenkraften. Sammanfattningsvis har skaleffektsproblematiken inte beaktats.

Statsministers kansli framhåller att regeringen aktivt påskyndar utbyggnaden av vindkraften med ett för detta syfte reformerat regelverk [1]. Invånarna får via kommunal översiktsplanering information om var utbyggnaden kommer att ske. Översiktplaneringen sker med hänsyn till vindkraftens krav på en snabb utbyggnad. Miljöministern konstaterar, att kommunalt inflytande sätter ”käppar i hjulet” för klimatmålen, vilka, enligt miljöministern, är mycket viktiga för Sveriges energiförsörjning [2]. Miljöministern kräver en kommunal självsanering av vetorätten för vindkraft. Miljöministern ifrågasätter vidare om det finns något nämnvärt motstånd från grannar drabbade av vindkraft, efter jordbävningskatastrofen i Japan, och skadorna på kärnkraften där [3]. Regeringens vindkraftutredare konstaterar att med den nya Plan- och bygglagen (PBL) får fem stycken Mark- och miljödomstolar samma administrativa gränser som miljödomstolarna nu har [4]. Överklagningsärenden inom PBL går dit, liksom detaljplaner och bygglovsärenden. Tillstånd för miljöfarlig verksamhet ges idag av Miljöprövningsdelegationer (MPD) vid tjugoen länsstyrelser, vilka minskas till sju MPD. Energimyndigheten hävdar att bevarandeintressen och vindkraft kan integreras i samma område varför riksintresset vindkraft bör implementeras i kommunernas översiktplaner [5]. Energimyndigheten hävdar att det råder rättsosäkerhet om det kommunala vetot, som inte behöver motiveras och kan inte överklagas, och kräver att rättssäkerheten garanteras. Sammantaget har dock tillståndsprocessen blivit alltmer strömlinjeformad där prospektören ensidigt redovisar att tillståndsparametrar, med små möjligheter för myndigheterna att genomföra kontroller, i och med att myndigheterna saknar verktyg härför. I Sverige hävdvunnen rättsäkerhet i fråga om klagan över tillstånd, har också beskurits till i det närmaste noll, i och med att antalet överklagandeinstanser för vindkraft i realiteten bara är en, vilken dessutom har fjärmats befolkningen rent geografiskt. Av miljöministern och Energimyndigheten hävdad rättsosäkerhet torde därför avse de av vindkraft drabbade grannarna – inte vindkraften [6]. Av vindkraft drabbade grannarna får på egen bekostnad driva försvaret för sin livsmiljö, medan motsvarande utbyggnad av vattenkraften gav rätten till fri advokathjälp och fritt ting [7]. Vindkraften, däremot, företräds ofta av jurister vid prospekteringarna varför obalans råder till den drabbades förfång.



Artikelförfattare är ***Bertil Persson****, docent, Bara.*

Vindkraftverk påverkar fastighetsvärden

Följande parametrar påverkar fastighetsvärdena [8]:

1. Vindkraft är mer tärande än närande
2. En ”död hand” läggs över landskapet
3. Störningseffekter för grannar
4. Risk för flygande isprojektiler
5. Teletrafik/flyg störs
6. Fågellivet decimeras
7. Tysta områden är passé – fredade områden blir guldkorn
8. Upplysningsplikt föreligger från säljarens sida.

Vindkraften, å sin sida, hävdar att ingen signifikant påverkan sker på fastighetsvärden [9] och [10]. Huvudslutsatsen från vindkraftens sida är att det inte finns något samband mellan närhet till vindkraftverk och lägre priser på permanentbostäder eller fritidshus. Rapporten har tagits fram av ÅF Consult med Svensk Vindenergi som projektledare. I referensgruppen ingick Boverket, Energimyndigheten, KTH, Handelshögskolan, Eolus Vind AB och Mäklarsamfundet. Svensk Vindenergi och referensgruppen borde dock ha insett att projektering och byggande av stora vindindustriområden påverkar fastighetspriserna i närområdet negativt. Att välja hundra gånger höjden av små vindkraftverk (50 m i höjd) som påverkat område (5 km i radie) är irrelevant jämfört med de havsvindkraftverk med upp till 205 m i höjd som nu ställs nära bostäder och fastighetsgränser (minimiavstånd 500 m). Slutsatsen bestrids i rapporten för ett fall i Trelleborgs kommun (totalhöjd 63 m), citat: ”…bedömer två av tre de tillfrågade mäklarna att närhet till vindkraftverk kan påverka fastighetspriserna negativt, samt på Orust (77 m): ”Snittpriset … reducerats från tolv procent … innan ansökan inlämnades till tjugotre procent under kommunsnittet året efter”, och i Offerdal (119 m) av, citat: ”Försäljningsdatat … svagare prisutveckling efter att tillstånd till etableringen givits”.

Erfarenheter av buller från vindkraftverk

Ett stort antal studier av vindkraftverk med mindre effekt än 1,5 MW ligger enligt doktor *Eja Pedersen*, Halmstad högskola, till grund för nuvarande utbyggnad av vindkraft med högre effekt än 2 MW [11]. Ett svischande och rungande buller är det som är mest besvärande med 32 procent störda människor vid bullernivån 40 dB(A) samt femton procent vid bullernivån 35 dB(A) [12]. För människan är vindkraftsbuller näst flygbuller det mest besvärande. Till skillnad från vägbuller kan vindkraftsbuller inte förväntas tidsmässigt eftersom det inte följer dygnsrytmen [13]. Stora individskillnader föreligger på störningsgraden i fråga om vindkraft. Enligt doktor *Martin Almgren*, ÅF Consult, är det främst nedsvepet av turbinbladet, som skapar högt källbuller, eftersom bladet då möter varierande vindhastighet [14]. Sverige har enligt doktor Almgren de strängaste kraven i Europa på bullernivå från vindkraft, 40 dB(A), samt 35 dB(A) för tyst område, om detta har definierats i kommunal planering. Det senare kravet är dock sällsynt förekommande. Doktor Almgren framhåller att en detaljerad beräkningsmetod, Nord 2000, som används av ÅF Consult, med goda indata uppfyller kraven på begränsningsvärdet för buller nattetid i samband med de kontroller som ÅF Consult självt har genomfört, dagtid.

Lågfrekvent buller och medicinska aspekter

Professor *Christian Sejer Pedersen*, Ålborg universitet, framhåller att vindkraft-

verk med en effekt högre än 2 MW ger upphov till tonala störningar vid låga frekvenser mellan 20 och 200 Hz [15]. I vissa fall ger stora vindkraftverk därför upphov till högre uppmätt bullernivå inomhus än utomhus [16]. För att innehålla kravet i Danmark, på en högsta lågfrekventa bullernivå inomhus, bör bullernivån utanför bostaden, enligt rekommendationer från Ålborg universitet, inte överstiga 35 dB(A) [17]. Hög lågfrekvent bullernivå vid vindkraftverk större än 2 MW bekräftades nyligen vid Lillgrund, Öresund. Här finns 48 stycken vindkraftverk med effekten 2,3 MW med en tonal störning vid 127 Hz [18]. Mätningar av bullret skedde av Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI). Förslaget, i syfte att bemästra problemet för fisket med alltför högt lågfrekvent buller, går ut på att ändra varvtalet för verken, så att inte fiskens lekplatser i Öresund störs. Det lågfrekventa bullret upplevs även på stranden vid Klagshamn, 7 km från vindkraftverken, som ett dovt ihållande mullrande. Docent *Gösta Bluhm*, Karolinska universitetssjukhuset, Solna, framhåller att riktlinjer för högsta buller från vindkraftverk har fastställts så att mellan tio och tjugo procent av befolkningen kan känna sig störda [19]. Därav har begränsningsvärdet nattetid satts till 40 dB(A). Mätningarna av buller utförs dock oftast dagtid medan samma vindkraftverk, enligt docent Bluhm, nattetid kan avge cirka 15 dB(A) högre mätvärde i bullernivå vid bostaden än vid mätning dagtid. Högre nattbuller från vindkraftverk än dagtid, beror på hög luftfuktighet och skiktningar i atmosfären. Nattstörningar, är enligt docent Bluhm, i särklass de mest besvärande för vindkraften, eftersom trafikbuller (flyg, bil, järnväg) mer eller mindre följer dygnsrytmen. Nattstörningar från vindkraften ger enligt docent Bluhm upphov till insomningsproblem, väckningar och omsomningsproblem. Sömnbrist till följd av buller från vindkraftverk kan på sikt ge negativa hälsoeffekter, men den drabbade människan minns då ofta inte den bakomliggande orsaken, långvarig sömnbrist.

Praktikfall Gränna, Jönköping kommun

På Vätternbranterna, alldeles intill Brahehus, uppfördes under senhösten 2010 flera vindkraftverk med effekten 2,3 MW vardera, av samma fabrikat som de som används på Lillgrund, *bild 1*. Tillstånd för verken gavs dock efter bygglov för verk med effekten 2,0 MW, vilka verk i sin tur var ”nedskruvade” för att avge lägre källbuller [20]. Garantikällbuller är en certifierad bullernivå hos ett vindkraftverk. Garantikällbuller innehåller en viss säkerhetsmarginal för spridning av mätvärden mellan olika verk samt mätnoggrannhet. ”Nedskruvning” innebär att turbinbladen vinklas så att bladhastigheten blir lägre hos vindkraftverket. Med lägre bladhastighet följer lägre hastighet för bladspetsen, med lägre bullernivå samt även lägre effekt och energifångst som följd. Bladspetsens vindhastighet får inte nå ljudets hastighet, eftersom speciella ljudeffekter då kan uppstå. Certifierat källbuller för i Gränna uppsatta verk vid full hastighet och effekt, mod 0, är cirka 106,0 dB(A) [21]. Av bygglovet framgår att redovisat källbuller för 2-MW-verk i mod 0 är 102,0 dB(A). Korrekt ”nedskruvat” källbuller är 104,0 dB(A) vid mod 1 för ifrågavarande verk. Med på platsen uppsatta verk kan man således förvänta sig att immissionsvärdena vid bostäderna vid mod 0 (full effekt) beräkningsmässigt ökar med cirka 4 dB(A). Mycket tyder på att full effekt är gängse även om ”nedskruvade” verk uppges i ansökan, till exempel i Ramdala, Karlskrona kommun [22]. Vid tillfälle för bullermätning i Ramdala var varvtalet för verket subjektivt sett lägre än dagen före och dagen efter bullermätningen. Högre mod än 0, det vill säga lägre effekt, innebär lägre energifångst. Exempelvis Länsstyrelsen i Kronobergs län motsätter sig ”nedskruvning” som relevant metod för att bemästra bullernivån intill vindkraftverk [23] och efterlyser i stället lösningar där 40 dB(A) uppfylls utan att vindkraftverket ”skruvas ned”. Vindkraftverk körs i mod 0 även om källbuller i miljörapporter ges för till exempel mod 4 eller 7 (”nedskruvade” moder) [24] till [27] respektive i mod 0 (full effekt) i stället för mod 4 [28]. Vindkraftverk är föremål för egenkontroll, varför myndighetens och därmed grannarnas insynsmöjlighet är liten. Transparens saknas vid mätning av buller och egenkontroll. Egenkontroll innebär att verksamhetsutövaren en gång per år inrapporterar källbuller hos vindkraftverket samt energifångst. Ofta står uppmätt energifångst och uppgivet källbuller inte i samklang med varandra, det vill säga uppmätt energifångst på platsen är endast möjlig vid full effekt, medan källbullret visar ”nedskruvad” effekt. Vid praktikfallet vid



FOTO:JOHAN KARLSSON

Bild 1: Vindkraftverk intill Brahehus, Gränna.

Tabell 1: Kortfattad beskrivning av störningsgrad för buller.

Störningsgrad	ICBEN	Rohrmann
0	–	Ej hörbart
1	Uppfattar, störs inte	Hörbart icke störande
2	Hör tydligt, kan störa kvalificerat skrivarbete men inte intellektuellt okvalificerat arbete	Lätt störande
3	Kan störa telefonsamtal, avkoppling utomhus	Måttligt störande
4	Påtagligt störande, kan tvingas gå in, kan störa insomning	Påtagligt störande
5	Outhärdligt ute, svårt att somna in, vaknar nattetid, står inte ut hemma dagtid	Ytterst störande/outhärdligt

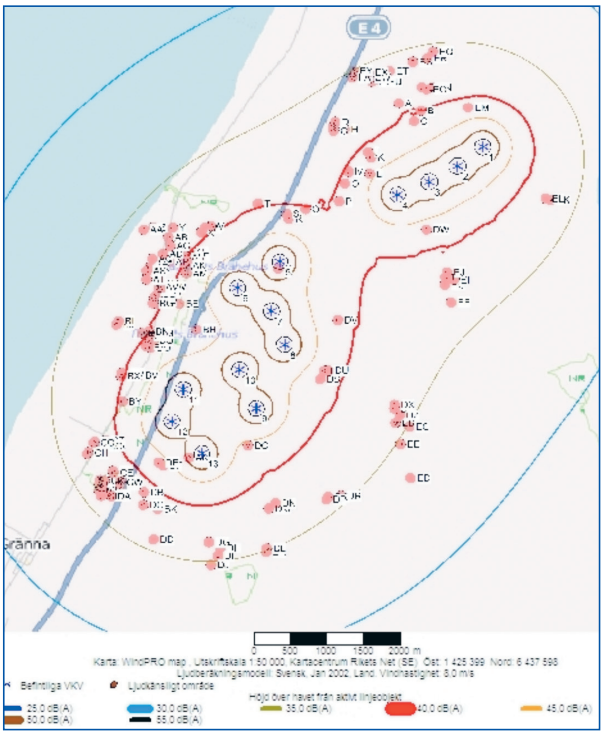
Gränna kan vid full effekt cirka 45 dB(A) förväntas som bullernivå vid grannbostaden. Enligt en dagbok störs de boende två till sju nätter per månad i form av insomningsproblem, väckningar och omsomningsproblem till graden 4 i en femgradig ICBEN-skala eller en skala enligt Rohrmann, bägge från noll till fem, *tabell 1* [29] till [31]. Tabell 1 visar en kortfattad beskrivning av störningsgrad för buller. Inom 900 m till Grännaverken finns 42 bostäder med mer än 40 dB(A) vid mod 0, *figur 1*. Bullerpåverkan sker i Gränna med aktuellt antal bostäder för cirka 10 capita/verk.

Praktikfall Hishult, Laholms kommun

Inom en radie av en kilometer från nitton stycken 2-MW-verk vid Hishult finns sju bostäder som kommer att drabbas av högre bullernivå än 40 dB(A) vid mod 0 och en konservativ beräkning med datorprogram WindPro (driftseffekt 2 MW på verken), *figur 2*. Störningsfrekvensen kan för Hishult konservativt beräknas till en capita per verk [32]. Bullermätningar utfördes vid låg luftfuktighet under dagtid under maj 2010 med tolv av verken i sydvästlig riktning igång. Bullermätningarna gav bullernivå under begränsningsvärdet för de drabbade grannarna [33]. Vid vindhastighet högre än 8 m/s avklingade bullernivån. De drabbade grannarna kräver att ärendet återförvisar för förnyad handläggning med relevant bullermätning av neutral part, nattetid, vid hög luftfuktighet, till exempel på senhösten [34]. Följande slutsatser kan dras av bullermätningar:

1. Bullermätningar för en punkt utfördes vid 2,67 m/s på höjden 10 m eller för 4,1 m/s på 105 m över marken. Källbuller vid mätning för denna punkt ska ökas från det som gäller 4,1 m/s, det vill säga 96,5 dB(A), till maximalt källbuller 104,0 dB(A), det vill säga med 7,5 dB(A) oaktat felaktig vindriktning, ett tillägg med cirka 3,0 dB(A). Totalt tillägg för uppmätt bullerimmission blir således cirka 7,5 plus 3,0 är lika med 10,5 dB(A) eller korrekt bullerimmission 45 plus 10,5 är lika med 55,5 dB(A).

2. Bullermätningar för en annan punkt utfördes vid 3,75 m/s på 10 m över marken eller 5,4 m/s på 105 m över marken, varför källbullret vid mätning för denna punkt ska ökas från det som gäller 5,4 m/s, det vill säga 101,5 dB(A) till maximalt källbuller 104,0 dB(A), det vill säga med 2,5 dB(A). Dessutom ska ett tillägg om ytterligare cirka 3,0 dB(A) ska göras för felaktig vindriktning. Totalt tillägg på uppmätt bullerimmission blir således cirka 2,5 plus 3,0 är lika med 5,5 dB(A) eller korrekt bullerimmission 43,5 plus 5,5 är lika med 49,0 dB(A).



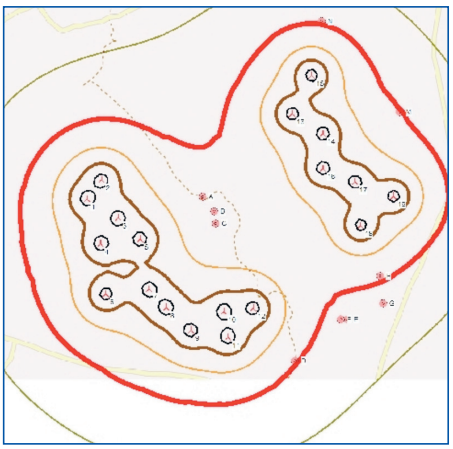
Figur 1: Inom 900 m till Grännaverken finns 42 bostäder med mer än 40 dB(A). Beteckningar: röd linje är lika med 40dB(A) vid källbuller 106 dB(A). Ekvidistans för isolinjer för bullernivå: 5 dB(A).

Tabell 2: Elproduktion, effektivitet och fullasttid 2010 för vindkraftverk i Oxhult, Hishult, Laholms kommun.

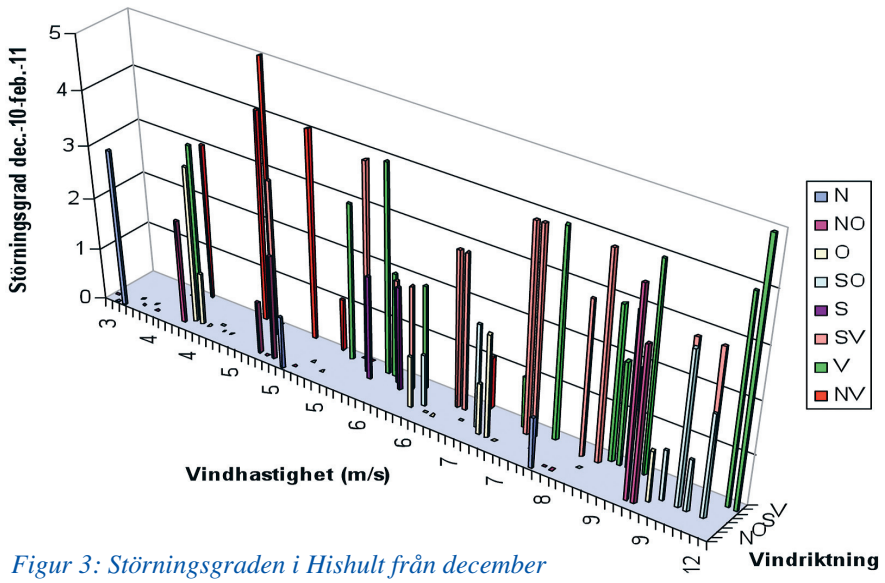
Oxhult	El (MWh)	Effektivitet (%)	Fullasttid 2010 (timmar)
1	3 987	22,8	1 994
2	4 076	23,3	2 038
3	4 314	24,6	2 157
4	4 636	26,5	2 318
5	4 254	24,3	2 127
6	4 035	23,0	2 018
7	4 399	25,1	2 200
8	4 584	26,2	2 292
9	4 359	24,9	2 180
10	4 342	24,8	2 171
11	4 578	26,1	2 289
12	3 959	22,6	1 980
Medel	*4 294*	*24,5*	*2 147*

Enligt en dagbok störs de boende i bostad A med vakenhet upp till fyra timmar per natt, mellan två och sju nätter per månad. Typ av störning i Hishult överensstämmer rätt väl med den i Gränna och är beroende av vindkraftverkets effektivitet. När det blåser för fullt, det vill säga cirka tjugofem procent av tiden låter det också som mest från vindkraftverken, *tabell 2* och *figur 3*. Tabell 2 visar elproduktion samt därav beräknad effektivitet och fullasttid för vindkraftverken i Hishult [35]. *Tabell 3* visar medelvindhastighet i Hishult 2010, 6,5 m/s [36]. För kommersiell vindkraft inklusive elcertifikat krävs cirka 7 m/s i medelvindhastighet. Verken i Hishult är, även om de är 150 m höga, för små för att kommersiell drift ska kunna nås. Figur 3 visar störningsgrad under perioden december 2010 till februari 2011. Störningsgraden beskrivs kortfattat enligt tabell 1. Störningsgraden noterades i figur 3 då verken 1 till 12 i sydväst var igång samt enstaka verk 13 till 19 mot nordost var under uppstart under februari 2011. Figur 3 är utförd som funktion av vindriktning och vindhastighet. Vindriktning och relativ vindhastighet uppmättes på marken. På navhöjden 105 m över marken torde vindhastigheten vara cirka 2 m/s högre än på marken [37]. Följande kan observeras ur i figur 3:

1. För vindriktning väst, V, från verken ökar störningsgraden på grund av direktbuller.
2. För vindriktning nordväst, NV, från verken, ökar störningsgraden redan vid 5 m/s troligen på grund av interferens mellan verken (inbördes avstånd endast 400 m).
3. Orsaken till störning redan vid 4



Figur 2: Sju bostäder inom en km från nitton stycken 2-MW-verk vid Hishult. Beteckningar enligt figur 1.



Figur 3: Störningsgraden i Hishult från december 2010 till mars 2011 då verk nummer 1 till 12 i sydväst var igång samt enstaka verk 13 till 19 mot nordost var under uppstart under februari 2011.

m/s vid vindriktning norr, N, och nordost, NO, är obekant, möjligen uppstart av nya verk 13 till 19 under februari 2011.

4. Till skillnad från bullermätning under maj 2010, som visade minskande bullernivå vid vindhastighet över 8 m/s, upplevdes ökande störningsgrad även över 8 m/s.

5. Med vindhastigheten ökande störningsgrad över 8 m/s tyder på att vindbrusets maskerande effekt inte äger tillämplighet för stora vindkraftverk.

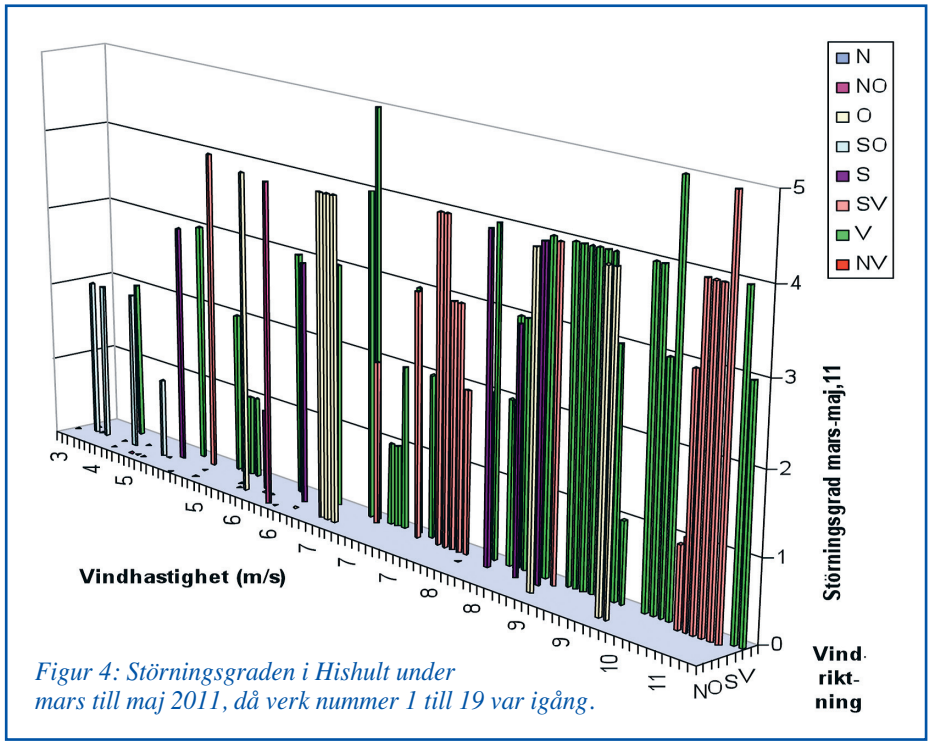
Figur 4 visar på samma sätt som i figur 3 störningsgrad för mars till maj 2011. Konsensus är densamma som för figur 3, det vill säga dominerande vindriktning ger mest besvär, från 5 m/s upp till 13 m/s. Verken i öster ger störningar så snart det blåser därifrån, från 5 m/s i vindhastighet. Måhända bör skyddsavståndet för buller vara dubbelt så stort i läriktningen för förhärskande vindriktningar (mellan sydväst och nordväst) än i övrigt.

Tabell 3: Medelvindhastighet i Hishult 2010, 6,475 m/s.

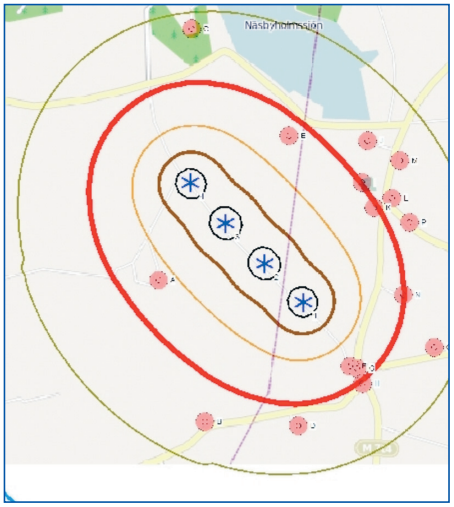
Vindhast. (m/s)	8,0				6,5			15,0
Parameter Mod	***Källbuller*** (dB(A))	***Differens*** (dB(A))	***Energi*** (GWh)	***Effektivitet*** (%)	***Andel mod 0*** (%)	***Energi*** (GWh/år)	***Effektivitet*** (%)	***Effekt*** (kW)
0	104,0	0,0	8,100	46,0	100	4,295	24,5	2,000
1	103,0	1,0	8,000	46,0	99	4,242	24,2	1,985
2	101,0	3,0	7,700	44,0	97	4,083	23,3	1,939

Praktikfall Näsbyholm, Trelleborgs kommun

Vid fyra stycken 2,3-MW-verk finns sex bostäder inom 600 m, vilka enligt en konservativ beräkning med WindPro får mer än 40 dB(A) i bullernivå vid mod 0, *figur 5*. Cirka fem capita störs per verk. Störningsfrekvensen varierar mellan fem och femton nattväckningar per månad. Under



Figur 4: Störningsgraden i Hishult under mars till maj 2011, då verk nummer 1 till 19 var igång.

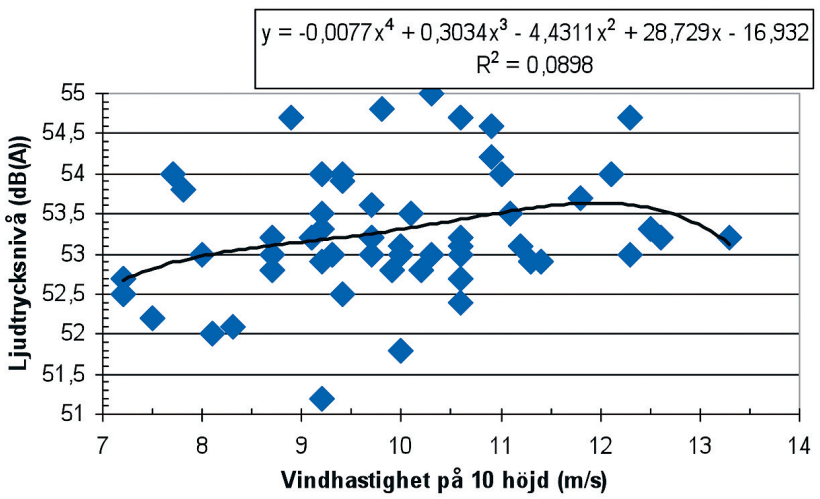


Figur 5: Vid fyra stycken 2,3-MW-verk i Näsbyholm finns sex bostäder inom 600 m med bullernivå över 40 dB(A). Beteckningar enligt figur 1.

dagtid vid västliga och sydvästliga vindar, samtidigt med mulet väder, det vill säga stor reflektion mot molnen eller disigt väder, upplevs bullret utomhus som ett svischande eller bankande, som påtagligt stör samtal och tankeverksamhet [38]. Vid denna typ av väder tio dagar i följd, kan svischande eller bankande inträffa upp till mellan sex och sju gånger, det vill säga minst två gånger per vecka. Bostaden ifråga är gammal med puts på utsidan och med träreglar mot ytter- och innerväggar. Dessutom upplevs i farstun till bostaden åt söder och i vardagsrummet åt söder och väster svischanden mindre påtagligt medan ett dovt mullrande är mer påtagligt. Det känns som om rummen kommer i egensvängning. Denna egensvängning hörs mest i farstun, men är också påtaglig i vissa delar av vardagsrummet. Vardagsrummet har två dubbelfönster av gammal typ mot söder respektive väster med spröjs och sex smårutor. Vid bullerberäkningar för Näsbyholm hade en mätosäkerhet om 1,1 dB(A) inte tillagts resulterande källbuller 100,3 dB(A) [39] till [43], mätning skett på en punkt 110 m från ett av verken, medan den ska utföras på ett avstånd av 1,5 x navhöjden, det vill säga 96 m från samtliga verk [44]. Med anledning av det felaktiga mätavståndet ska korrekt källbuller ökas med 0,9 dB(A), figur 3. Luftfuktigheten i Näsbyholm var osedvanligt låg vid mättillfället, varför inverkan av relevant luftfuktighet nattetid (då begränsningsvärdet 40 dB(A) gäller) ska beaktas, cirka 99 procent, det vill säga ett tillägg göras med cirka 0,5 dB(A). Uppgifter om vindhastighet och effekt lämnades för Näsbyholmsfallet av verksamhetsutövaren själv, det vill säga rådata saknas i rapporten, varför dessa vind- och effektdata saknar bevisvärde. Spridningen i mätresultat i bullernivå i figur 3 är för stor för att regression ska kunna göras, det vill säga R^2 mindre än 0,75. I verkligheten beräknas R^2 är lika med 0,09, *figur 6*. Figur 6 visar ljudtrycksnivå som funktion av vindhastighet på höjden 10 m för ett vindkraftverk i Näsbyholm. Inget signifikant samband fanns mellan, å ena sidan vindhastigheten och, å andra sidan, ljudtrycksnivå, varför resultaten inte borde ha nyttjats. Subjektiv bedömning av upplevt buller för verk 1 till 3 saknar relevans som bevis i frågan. Därför bör en spridning av cirka 1 dB(A) mellan enstaka verk i stället ha beaktas. Om resultaten i figur 6 ändock accepteras ska resulterande källbullernivå med ledning av ovan sagda beräknas till 100,3 plus 1,1 plus 0,5 plus 0,9 är lika med 102,8 dB(A), vilket värde överensstämmer väl med garantikällbuller för Enercon 1,8 MW E-70 för mod 4. Bullerberäkning för full effekt om 2,3 MW har därför skett med garantikällbuller för Enercon 2,3 MW E-70 mod 0, det vill säga 103,1 dB(A), figur 5. Figur 5 visar buller- och skuggberäkningar enligt SNV 6241 [45] och [46].

Konsensus för mänsklig livsmiljö

Vid bullerberäkningar/mätningar för vindkraftverk undertrycks systematiskt källbullret för vindkraftverket, uppges ”nedskruvad” effekt, vilken är i det närmaste ogörlig att kontrollera, samt utförs beräkningar med förfinade metoder (program Nord 2000), vilka är att betrakta som en ”Black box”. Nord 2000-programmet kräver en mängd specifika indata, vilka går att styra så att begränsningsvärdet ständigt uppfylls. Efterföljande kontroll av att begränsningsvärdet uppfylls utförs av samma konsult som utförde bullerberäkningen, det vill säga cirkelbevis. Bullermätningarna utförs vidare under, för verksamhetsutövaren, mest gynnsamma förhållanden, dagtid vid låg luftfuktighet, högt bakgrundsbuller, på för få verk etcetera, medan ett relevant mätförhållande är nattetid vid temperaturinversion och hög luftfuktighet. I praktikfallet ingår 53 bostäder eller cirka 160 grannar intill 34 vindkraftverk, vilka kommer att exponeras för en tidigare icke upplevd typ av oregelbundet buller. Störningsfrekvensen blir cirka 4,5 capita per verk. Exemplifierade placeringar av verk får betraktas som de, under omständigheterna, mest gynnsamma med hänsyn till antalet störda grannar. Framgent kommer vindkraftverk att få placeras allt närmre drabbade grannar. Enligt professor *Erik Skärbäck*, Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp, kan, med ett skyddsavstånd av 250 m, en produktion av 100 TWh vindel per år beräknas för vindkraftverk placerade på slätten, för 400 m i skyddsavstånd, 30 TWh per år produceras på slätten samt 10 TWh per år vindel med 650 m i skyddsavstånd till bostäder [47]. Enligt professor Erik Skärbäck krävs ett omvänt laga skifte av den typ som ägde rum under 1800-talet för att produktionsmålet 30 TWh per år vindel ska kunna uppfyllas 2020 och samtidigt högst 40 dB(A) i bullernivå innehållas. Så blir uppenbart inte fallet, att 40 dB(A) kommer att kunna innehållas, utan en rimlig bedömning är att högre frekvens av grannar än ovan kommer att störas. Störningarna tar sig uttryck i nattetid störande buller med tonala inslag och bullertoppar, som i det lågfrekventa området, inomhus under enbart tio minuter långa registreringar med varierande toppar om cirka 15 dB över minimivärdet [48] och [49]. Lågfrekventa bullertoppar undgår helt upptäckt om man använder ekvivalent bullernivå dB(A) uppmätta under åtta timmar. I stället bör maximalt buller inomhus mätas nattetid i dB(C) för bostäder, när personer störs. Bullermätningar bör göras vid tillfällen med markinversion samt vid vind mot bostad och verk igång eller stoppade.



Figur 6: Ljudtrycksnivå som funktion av vindhastighet på höjden 10 m. Inget signifikant samband fanns, men detta samband kom ändock till användning.

Reglerkraft till vindkraft

Satsningen på vindkraft i Sverige sker i syfte av elexport för att ersätta produktion av kolel, främst i Tyskland. Export av el bygger på kontrakt, så kallad *on-demand*. Export kan därför endast ske av el från annan elkraft än vindkraft, vilken reglerkraft, för exportändamål följaktligen måste byggas ut. Vindkraft kan endast levereras *on-supply* (när det blåser) och kan därför inte kontrakteras. *Tabell 4* visar elkraftbalansen 2009 [50] samt en prognos av elkraftbalansen 2020 förutsatt att Energimyndighetens planeringsmål om 30 TWh uppfylls [51]. Förutsättningen är vidare konservativ, det vill säga en bibehållen elkonsumtion i Sverige, samt en bibehållen fördelning av reglerkraften, mellan de olika elkraftslagen. Intressant är att vindkraften 2009 nära nog exakt reglerades av oljekondenskraftverk i Stenungssund och Karlshamn. Intressant är också att elexporteffekten motsvarar maximal effekt av kärnkraft, det vill säga om kärnkraften och elexporten elimineras så krävs ändock en ökad effekt av övriga kraftkällor för vindkraftens skull, till exempel med cirka 5 500 MW utbyggd vattenkraft. För 2020

Tabell 4: Elkraftbalansen 2009 samt en prognos av elkraftbalansen 2020 förutsatt Energimyndighetens planeringsmål om 30 TWh per år 2020.

Elkraftbalansen	***2009*** (MW)	***2009*** (%)	***2020 prognos*** (MW)	***Differens 2020*** (MW)
Vattenkraft	13 700	48,0	19 227	5 527
Kärnkraft	8 360	29,3	11 732	3 372
Mottryck	4 140	14,5	5 810	1 670
Kondens	1 700	6,0	2 386	686
Gasturbin	235	0,8	330	95
Vindkraft Sverige	120	0,4	890	770
Import / Export	300	1,1	-11 519	-11 819
Summa	28 555	100,0	28 855	300
Vindkraft maximal	1 714		12 709	10 994

beräknad vindkraft bygger på 26,9 procent i effektivitet 2010 för 255 stora vindkraftverk i Sverige, *tabell 5* [52]. Tabell 5 visar resulterande effektivitet 2010 hos 255 vindkraftverk större än 1,5 MW, månad för månad, samt medelvärde. Även Svensk Energi talar om behovet av en utbyggd vattenkraft för att reglera vindkraften, mellan 4 300 och 5 300 MW i effekt [53]. Kraftbolag planerar redan nu nya vattenkraftverk i fyra vattendrag, Ammerån i Jämtland, Röån, som är ett biflöde till Ångermanälven, Edsoxforsen i Hårkan och Byske älv för att reglera 400 vindkraftverk planerade i närheten [54] och [55]. Naturskyddsföreningen, Sportfiskarna, Älvräddarnas Samorganisation och Bollnäs kommun tillbakavisar detta behov av utbyggd vattenkraft. Nämnda organisationer uppger dock ingen annan väg att förse vindkraften med nödvändig reglerkraft än batteriladdning [56]. Även om alla personbilar i Sverige drivs med el och dess batterier laddas samtidigt, så blir elbehovet maximalt cirka 3 TWh per år, det vill säga en tiondel av den planerade elexporten. Stora översvämnings- och biotopskador kan förväntas vid en utbyggd och alltmer hårdreglerad vattenkraft i vindkraftens spår [57]. Huvudproblemet med vindkraft är emellertid inte uppskruvning av effekten, utan nedskruvning av denna. Uppskruvning kan lösas med ny reglerkraft.

Tabell 5: Resulterande effektivitet i Sverige 2010 hos 255 vindkraftverk större än 1,5 MW, månad för månad, samt medelvärde (m.v.) (%).

Namn	Jan	Feb	Mars	Apr	Maj	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec	M.v.
Gans	32,8	28,5	45,4	31,8	27,8	28,1	25,4	29,5	42,4	42,3	46,6	40,6	35,1
Granberget	35,4	28,7	26,7	18,8	15,1	20,8	23,7	19,6	21,9	41,6	32,6	36,0	26,7
Hedeskoga	31,6	28,3	26,4	26,0	27,3	23,5	20,9	23,4	29,2	44,4	36,2	34,0	29,3
Högberget	29,9	29,0	38,4	26,3	21,2	20,2	29,7	22,5	28,2	46,6	41,0	46,3	31,6
Isgrannatorp	27,7	21,4	23,7	24,5	20,1	14,6	14,0	16,4	26,2	26,3	22,7	23,2	21,7
Lillgrund	37,4	36,5	30,8	28,4	24,7	18,5	19,8	14,9	38,0	42,4	44,2	42,3	31,5
Munkagård	27,3	23,4	26,9	31,9	23,3	18,9	15,8	28,0	38,1	38,7	42,2	28,2	28,6
Näsbyholm	33,5	30,0	24,6	25,8	26,2	17,9	14,2	21,7	36,3	32,6	37,7	32,6	27,8
Sverige	29,2	26,2	27,3	24,6	21,1	18,2	20,2	19,1	30,1	36,1	39,4	31,9	26,9
Utgrunden	45,6	34,0	35,2	35,3	37,1	32,1	29,5	31,2	34,5	40,6	54,9	52,6	38,6
Vallerstad	40,5	23,4	38,1	37,0	26,3	23,0	26,6	31,3	42,3	38,9	53,6	39,7	35,1
3-MW	25,6	22,7	31,1	21,2	23,4	23,3	20,5	23,1	30,2	38,3	36,3	32,8	27,4

kraft till exempel vattenkraft eller oljekondensverk. Nedskruvning är fysiskt omöjlig för den vindkrafteffekt som planeras för 2020. Vid ett sommar- eller höstlågtryck är effektbehovet betydligt lägre än maximal vindkrafteffekt då, cirka 13 000 MW. Ett sommar- eller höstlågtryck berör även tänkta exportländer, varför dessa inte kan ta emot vindel ens *on-supply* (bortskänkt elström). Jordning får därför 2020 ske av vindel under sommar- eller hösttid. Svensk storsatsning på vindkraft är dessutom kontraproduktiv för dansk och tysk vindkraft, som önskar använda svensk vattenkraft som reglerkraft. Dansk vindkraft får jordas redan nu. Ledningsnäten klarar inte av tysk vindkraft. Såväl juridiska och ekonomiska problem är olösta samt kraftöverföring och vattendomar [58]. Samma problem förkommer i Skottland, där nyligen cirka tio miljoner kronor betalades i bidrag under en enda natt, för att vindkraften inte skulle producera onödig el under en lågtryckspassage. Under denna blåsiga natt fanns inte behov av el att försörja. Det måste finnas motsvarande effekt reglerkraft att ”skruva ned”, som full effekt av vindkraft ger upphov till, även sommar- och hösttid.

Örn åter utrotningshotad

I Sydeuropa hotas stora fåglar, speciellt i Spanien, efter en snabb utbyggnad av vindkraften där, bland annat åtta dödade gåsgamar per turbin i Spanien [59]. Tillståndsgivande myndigheter hävdar att vid fullskalig utbyggnad av vindkraft förväntat antal dödade fåglar saknar betydelse jämfört med nu aktuellt antal dödade fåglar [60]. Nu antal dödade fåglar består dock till allra största delen av inte könsmogen ungfågel, medan vindkraftens turbinvingar dödar fågel urskillningslöst, oberoende av ålder [61]. Speciellt örn är känslig, eftersom denna fågelart precis har undgått utrotning på grund av miljögifter, varför varje brandskattning åter kan vara ett arthot. Tillståndsgivande myndighet uppger, i ett högaktuellt fall med fjorton havsvindkraftverk i ett av Sveriges viktigare flyttfågelstråk, mellan Hittarp, Helsingborgs kommun, och Ängelholm, tillika vinterrevir för örn, dels att örn ser vindkraftverk på långt håll och därför, enligt myndigheten, kan undvika dem, dels att matning av örn i avledande syfte bör ske intill de tilltänkta vindkraftverken [62] till [70]. Beslutet är motsägelsefyllt eftersom örn, som enligt beslutet kan undvika vindkraftverken, genom att se dem i tid, inte behöver matas i syfte att undvika dem. Matning av örn har vidare upphört till följd av högre krav på sättet för matning, utfärdade av den tillståndsgivande myndigheten.

Slutsatser

Följande slutsatser kan dras:

1. Regering och myndigheter bereder, genom ett ändrat regelverk och ett decimerat domstolverk, ensidigt vägen för en snabb utbyggnad av vindkraften på bekostnad av livsmiljön för drabbade människor.

2. Rättsosäkerhet råder för de av vindkraft drabbade grannarna då antalet nivåer för klagan har decimerats samt domstolarna fjärmats människorna rent geografiskt.

3. Drabbade grannarna får på egen bekostnad driva försvaret för livsmiljön, medan utbyggnaden av vattenkraft gav rätt till fri advokathjälp och fritt ting.

4. Fastighetsvärden decimeras, eftersom vindkraften är mer tärande än närande på omgivning samt, eftersom en ”död hand” läggs över området.

5. Basen för påverkan på omgivningsmiljön härrör från studier av vindkraftverk mindre än 1,5 MW medan utbyggnaden helt sker med större modeller.

6. Verifiering av beräknade bullernivåer sker av samma konsult som beräknade bullernivån, det vill säga cirkelbevis.

7. Medicinska effekter på människor av vindkraftsbuller är outredda även om Naturvårdverket (SNV) inte anser att allvarliga lågfrekventa störningar är för handen [71].

8. Ett omvänt laga skifte krävs, det vill säga urbanisering av en del av landsortsbefolkningen, om vindkraftsmålet 30 TWh per år ska nås.

9. Vattenkraften måste byggas ut med minst 5 000 MW för att reglerbalans i elsystemet ska upprätthållas.

10. Tidigare hotade fåglar kan åter hotas med nu planerad vindkraftutbyggnad. ■

Referenser

Beteckning: LST = Länstyrelsen.

[1] Jon Millarp. *Vindkraftsutbyggn*. Dnr SB2011/2296. E-post 2011-03-23 kl. 11:51.

[2] Andreas Carlgren. *Komm veto mot vindkraftsetabl*. M2011/1203/A/Br. E-post 2011-03-24 kl. 17:15.

[3] Maria Ottoson. *Dags att blåsa på!* DI. 29/3-11.

[4] Peter Ardö. *Vindkraftsdialog*. Sem. Sthlm. 2011.

[5] Monica Andersson. ibid.

[6] Jan Bergstedt. Uppvaktn Miljödep. 19/8-10.

[7] Andreas Carlgren. Advokatbitr åt grannar till vindkraftprojekt. Reger.kansliet. M2010/3418/R, 2.

[8] Daniel Nordin. *Vindkraften påverkar fastighetsmäklarens vardag*. Aktiv Mäklare. No 2 2011, sid, 6–7. www.fmf.se/aktivmaklare/pdf/aktivmaklare201102.pdf, 6.

[9] Vindkraft i sikte. Hur påverkas fastighetspriserna vid etablering av vindkraft? Sv Vindenergi. Sthlm. 2010, 44 www.-svenskvindenergi.org/files/Vindkraftisikte100915.pdf.

[10] Marie Alpman. *Småhuspriser påverkas inte av vindkraftverk*. NyT. 15/9–10. www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo-/vindkraft/article2473592.ece.

[11] Eja Pedersen. *Så uppfattas ljud från vindkraftverk*. Buller i blåsväder. Forskningssymp vindkraftsbuller. Ljudmilj.C. LU. Lund. 2011-03-25.

[12] Eja Pedersen & Kerstin Persson Waye. *Perception and annoyance due to wind turbine noise – a dose-response relationship*. Miljömed. Gbg, Ac. Soc. Am. 3460-3470. maine.gov/dep/blwq/docstand/sitelaw/Selected%20developments/Spruce_Mountain/additional_information/9_24_-2010/fsm/exhibit_17.pdf.

[13] Eja Pedersen & Frits van den Berg. *Why is wind turbine noise poorly masked by road traffic noise?* SwePub. Kungl bibl. swepub.kb.se/bib/swepub:oai:DiVA.org:hh-5260?tab2=abs&language=en.

[14] Martin Almgren. *Tekniskt om vindkraftsljud*. Buller i blåsväder. Forskningssymp. vindkraftsbuller. Ljudmilj.C. LU. Lund. 2011-03-25.

[15] Christian Sejer Pedersen. *Lågfrekvent ljud från stora vindkraftverk*. ibid.

[16] Carlos Andrés Jurado Orellana, Brian C.J. Moore & Christian Sejer Pedersen. *Psychophysical tuning curves for frequences below 100 Hz*. Ac. Soc. Am. Journal. vbn.aau.dk/da/publications/psychophysical-tuning-curves-for-frequences-below-100-hz(185d0ae7-87d2-4bf5-a54f-ab2ce0db48bb).html.

[17] Henrik Møller & Christian Sejer Pedersen. *Low-frequency noise from large wind turbines*. Aalborg un. 2011. vbn.aau.dk/da/publications/lowfrequency-noise-from-large-wind-turbines(e81ff965-d6b2-49f0-af30-11102d710c9b).html.

[18] Ulla Karlsson-Ottosson. *Vindkraft till havs måste ändra varvtal*. NyT. 18/3-11. www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/vindkraft/article3130777.ece.

[19] Gösta Bluhm. Bullder i båsväder. Forskningssymp. vindkraftsbuller. Ljudmilj.C. LU. Lund. 2011-03-25.

[20] Vindkraftprojekt Norra Kärr. Bullerberäkning. BN. Jönköping. 2008-10-02 14:22.

[21] www.windpro.dk.

[22] Mary Abrahamsson. Pers. inf. Ramdala. 2010.

[23] Henrik Skanert, Carl-Philip Jönsson & Kaisa Sandstedt. Kompl. ärende 551-1192-10, Furuby, Växjö kn. 2010-09-14.

[24] Bertil Persson. Miljörapporter från vindkraftverk i Höörs kn, 1 sid, www.landskapsskydd.se.

[25] Göran Fagerström et al. *Tillstånd enligt Miljöbalken till uppförande och drift av ett vindkraftverk*, SNI kod 40.1-5. Dnr 551-13501-02; 1267-120. LST Skåne. 2002-10-10.

[26] Göran Fagerström et al. *Tillstånd enligt Miljöbalken till uppförande och drift av ett vindkraftverk*, SNI kod 40.1-5. Dnr 551-17327-02; 1267-121. LST Skåne. 2002-12-05.

[27] Miljörapporter. Dnr 2007/0399.862 (502), 2009/0589.862 (524). Höörs kn. 2009, 10 sid.

[28] Miljö- och BN. Ödeshögs kn. Prot. 2010-11-16, 4.

[29] HM Miedema & H Vos. *Noise sensitivity and reactions to noise and other environmental conditions*. J Acoust. Soc Am 1998 104, 3432-3445.

[30] B. Rohrmann. *The use of verbal labels in noise annoyance scales. Theoretical deliberations and empirical findings*. Dept. Psychology, Un. Melbourne, Australia. Carter, N. & Job, S.R.F. (Eds.), Proceedings ”Noise as a public health problem”. Sydney: Noise Effects ’98 Pty, (vol. 2, 523-526).

[31] Henning Theorell. Leg. läk. Dagbok förd vid vindkraftverk i Tuggarp, Jönköpings kn. 2011.

[32] Henning Theorell. Leg. läk. Dagbok förd vid vindkraftverk i Hishult, Laholms kn. 2011.

[33] Laholms kn. Miljönämnden. Mätning av ljudimmission från vindkraftpark Oxhult. Projekt 550671. 2010-06-24, 41.

[34] Laholms kn. Miljönämnden. Överklagande av Miljö- och BN. Laholms kn. Beslut 2010-09-15, M327/10, ang. mätning av ljudimmission från vindkraftpark i Oxhult 3:1 m fl. Dnr 505-5514-10. LST. Halmstad, 2011-01-19, 2.

[35] Svenska Kraftnät. Mail den 21 februari 2011 08:14.

[36] www.emd.dk.

[37] Bertil Persson. *Vindkraftsutbyggnad – var god dröj!* Sem. 2009-10-21. www.ksla.se/file.asp?n=2330.

[38] Henning Theorell. Leg. läk. Dagbok förd vid vindkraftverk i Näsbyholm, Trelleborgs kn. 2011.

[39] Stephan Schönfeld & Martin Almgren. *Mätning av ljudeffekt från vindkraftverk enligt IEC 61400-11 Turbin 4, Näsbyholm vindkraftpark*. Projekt 542336. ÅF Ingemansson. 2009-10-23, 20.

[40] Miljöskydd Näsbyholms fiderkommiss. LST Skåne. SDS. 2009-05-29, 1.

[41] § 15 Ansökan om uppgradering av vindkraftverken på fastigheterna Näsbyholm 2:1 i Trelleborgs kn enligt 5§ förordningen (1998:889) 0m miljöfarlig verksamhet. Dnr 555-14093-09 1287-147, 2.

[42] Dick vin Blixen Finecke. Ansökan om uppgradering av vindkraftverken på fastigheterna Näsbyholm 2:1, Näsbyholms fiderkommiss. Trelleborgs kn. Bilaga a § 15/2009, 2.

[43] Universal Wind AB. WindPRO version 2.6.0.235 Aug 2008. 2009.01.21, 2.

[44] Mätning och beräkning av buller från vindkraftverk. www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/-Buller/Buller-fran-vindkraft/.

[45] Ljud från vindkraftverk. Boverket, Energimyndigheten, Naturvårdsverket. Rap 6241. 2001, 38 s.

[46] Ljud från vindkraftverk. Reviderad utgåva av rapport 6241. Naturvårdverket. 2009, 43.

[47] Erik Skärbäck. Buller i blåsväder. Forskningssymp. vindkraftsbuller. Ljudmilj.C. LU. Lund. 2011-03-25.

[48] Bob Thorn. *Assessing Intrusive Noise and Low Amplitude Sound*. Massey Un. Wellington Campus, Inst Food Nutrition and Human Health, 316.

[49] Green & Ribnick. *Adverse impacts from wind turbines in Australia* 2011-09-02, 9.

[50] www.svk.se/Global/02_Press_Info/Pdf/100813_Effektbalansen_rapport.pdf.

[51] Statens energimyndighet. Publikation ER 2007:45, ISSN 11403-1892, 2007, 28.

[52] www.vindstat.nu.

[53] Lars-Anders Karlberg. *Energibolagen kräver: Bygg ut vattenkraften nu!* NyT. 11/5-09. www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/vattenkraft/article574075.ece.

[54] Statskraft. Prospekt för 400 vindkraftverk i Södra Jämtland. 2011.

[55] Mia Halleröd. *SCA storsatsar på vindkraft*. DN, 14/9-07.

[56] Svante Axelsson. *Sv Energi är fel ute om vindkraften*. Newsdesk, 3/7-09. www.mynewsdesk.com/se/pressroom/-sportfiskeforbundet/pressrelease/view/-svensk-energi-aer-fel-ute-om-vindkraften-306156.

[57] Klas Roudén. *Vindkraft – Energikälla med dyrbara konsekvenser*. Elbranschen. 2010. www.elbranschen.nu/content/view/750/85/lang,english/.

[58] Per Lindvall. *Dyrt experiment ska ge ny energi*. E24. 7/3-11. www.e24.se/makro/varlden/dyrt-experiment-ska-ge-ny-energi_2662567.e24.

[59] HBW (Handbok of Birds of the World), Foreword, Conservation of the Birds of the World, Vol. 15, 2010, 12.

[60] Beatrice Ericsson. Föredrag i Hylte församlingshem. Vindval vindkraft. Nätverk för vindkraft. LST Halland. Halmstad. 2011-04-16.

[61] Ingemar Ahlén. *Vindkraft kräver hänsyn till fauna och känslig natur. Vindkraft javisst! – Men inte alltid och inte överallt*. Sem. Kungliga Skogs- och lantbruksakademien, KSLA, 2009-10-21, 22-27. www.ksla.se/file.asp?n=2330.

[62] Bedömning av skuggverkan vid vindkraftsanläggningar i Västraby. Nord. vindkraft. 62.

[63] Utvärdering av ljudpåverkan från den föreslagna vindkraftsanläggningen i Västraby. Nord. vindkraft. Odaterad, 28.

[64] Bullerberäkning f. 10 VKV 2,5 MW. Rögle vindkraftverk. Natural Power Consultant, Castle Douglas, 2007, 1 sid.

[65] Skuggberäkning för 9 VKV. Rögle vindkraftverk. Natural Power Consultant, Castle Douglas, 2008.

[66] Bullerberäkning för 9 VKV 2,3 MW. Rögle vindkraftverksstation. Natural Power Consultant, Castle Douglas, 2008-06-23, 1.

[67] Sweco AB. Miljökonsekvensbeskrivning, MKB. Rögle vindkraftgrupp. 2008-07-01, 51.

[68] Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken. LST Skåne. Dnr 551-80674-08. 1283-1083, 20.

[69] Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken. LST Skåne. Dnr 551-51436-08. 1283-1073, 20.

[70] Bertil Persson. *Bullernivå, energifångst och sannolik skuggningstid för fjorton vindkraftverk vid Rögle – Västraby*, Helsingborg Stad samt bildmontage. Rapport ISBN ISBN 978-91-86007-90-4. 2011-03-10, 33.

[71] Mats E. Nilsson, Gösta Bluhm, Gabriella Eriksson & Karl Bolin. *Kunskapssammanställning om infra- och lågfrekvent ljud från vindkraftsanläggningar: Exponering och hälsoeffekter*. SNV. Slutrapport. 2011-05-22.

Värmegolv, ”självkompakterande betong” och fuktskador. Bygg & Teknik. 3/2002, 59.

Värmegolv, ”självtorkande” betong och fuktskador

Vid ett par skadefall med ”självtorkande” betong var kunskapen om temperaturens inverkan på fukten okänd. Man hade också benämnt betong med vattencementtal, vct = 0,39–0,42 som ”självtorkande”. Enligt Svenska Betongföreningen krävs vct < 0,32 för att betongen ska kunna benämnas som självtorkande samt vct < 0,38 för snabbtorkande betong [1]. Varje hundradel i vct har stor betydelse för uttorkningens förlopp vid ett lågt vct.

Speciellt vct = 0,38 anses som kritiskt. Vid vct < 0,38 har betongen brist på vatten varför hydratationen ej blir fullständig. Man hade således inte bäddat speciellt väl vid de aktuella skadefallen. Dessutom hade man gjutit in värmeslingor i betongen.

I det första fallet mätte man fukten med värmen på. Vid temperaturen, T = 33 °C visade mätaren för relativ fuktighet, RF = 88 procent, jämfört med kraven RF = 85 procent vid T = 20 °C. Flera ”katastrofmöten” hölls och uttorkningstiden förlängdes med tre månader. Åtgärden var helt onödig. Hade temperaturen bara sänkts till 20 °C i betongen hade RF = 85 procent erhållits automatiskt eftersom RF minskar med cirka 0,3 procent per grad Celsius vid låga vct = 0,40 [2, 3].

I det andra fallet lades en mycket tät beläggning av epoxi på vårkanten på ett betonggolv med värmeslingor. Betongen hade torkats till RF = 90 procent enligt föreliggande krav (T = 20 °C). Då vintern kom slogs värmen på i slingorna eftersom det började bli kallt om fötterna på personalen i lokalen. Bucklor och ”bom” uppstod mellan betongen och epoxin beroende av att temperaturen hade ökat RF med 3–4 procent. I det tredje fallet, 6 000 kvm gummigolv, göts 70 mm betong med vct = 0,40 på gummiduk.

Därefter torkades betongen snabbt till RF = 85 procent vid T = 20 °C. En gummimatta limmades med ett akrylatlim direkt till betongen, värmen slogs på i golvet och mattan släppte med bubblor i stort sett över hela golvet.

Entreprenören fick ta på sig skulden för det inträffade trots att det var värmegolvets fel. Husägaren hade ovetandes skruvat på golvvärmen. Limmet hade en kritisk RF = 85 procent men genom värmepåsläppet erhölls RF = 90 procent i betong vid aktuell temperatur. Slutsats: Vid värmegolv ska betongens RF mätas vid brukstemperaturen, dvs vid beräknad temperatur i betongen.

Referenser

[1] Svenska Betongföreningen. *Betong för sunda golv*. Rapport nr 7. 1997, 17.

[2] Lars-Olof Nilsson. *Temperature Effects in Relative Humidity Measurements on Concrete – Some Preliminary Studies*. Fuktgruppen. Rapport 1987:1. BFR. 1987, 84.

[3] Bertil Persson. *Samverkan mellan golvmaterial och betong i fråga om fukt, emissioner och vidhäftning*. Arbetsrapport 0202:01. LTH Byggnadsmaterial. 2002, 29.

Bertil Persson
Docent i byggnadsmaterial