

Meteorologiska mätningar med ballong för bedömningar av ljudutbredning i Åkarp 2008

Jan O. Mattsson, John Wadbro, Pontus Thorsson, Erik Skärbäck

Landskapsarkitektur, SLU Alnarp

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Rapport 2009:7

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-86197-18-6

Alnarp 2009



LANDSKAP TRÄDGÅRD JORDBRUK

Rapportserie

Meteorologiska mätningar med ballong för bedömningar av ljudutbredning i Åkarp 2008

Jan O. Mattsson, John Wadbro, Pontus Thorsson, Erik Skärbäck

Landskapsarkitektur, SLU Alnarp

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Rapport 2009:7

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-86197-18-6

Alnarp 2008

Förord

I järnvägsutredningen Södra stambanan Håstad-Arlöv råder oenighet mellan Banverket och Burlövs kommun om huruvida Åkarp, i en dalgång med omgivande höglänta öppna marker, har särskilda lokalklimatiska förhållanden under nätter med inversion som innebär att Nordiska Beräkningsmodellen för buller inte är tillämplig för den orten. Samtidiga omfattande mätningar av buller och lokalklimatdata år 2006 visade på större bullerförstärkning nattetid än tidigare uppmätt i Sverige. Meteorologisk statistik lokalt visar att detta kan inträffa flera nätter per vecka.

Naturvårdsverket skriver i sina anvisningar för Nordiska beräkningsmodellen att den modellen inte är kalibrerad för särskilda väderförhållanden, men att en korrektion kan införas för att justera för lokala variationer. SMHI rekommenderar 2007 ytterligare mätningar i samarbete mellan Banverket och Burlövs kommun. Banverket tog avstånd från hela resonemanget och har avböjt medverkan i SMHIs rekommenderade mätningar. Därför har Burlövs kommun själv, i partnerskap med expertis från SLU, gått vidare och genomfört mätningar av de lokalklimatiska förhållandena, sommaren 2008.

Forskargruppen består av prof em Jan O. Mattsson, Lunds universitet, tekn dr Pontus Thorsson, Akustikverkstan AB i Järpås, vilka båda ansvarar för de vetenskapliga slutsatserna avseende meteorologi respektive buller.

Forskarstuderande John Wadbro SLU, har praktiskt genomfört mätningarna. Uppdragsmottagare och ekonomiskt ansvarig för studien är professor Erik Skärbäck, SLU.

Erik Skärbäck
Projektledare

Meteorologiska mätningar med ballong för bedömningar av ljudutbredning i Åkarp 2008

Jan O. Mattsson¹, John Wadbro², Pontus Thorsson³, Erik Skärbäck⁴

Bakgrund

Under järnvägsutredningen, Håstad-Arlöv, mellan Malmö och Lund, har från Burlövs kommun länge påpekats att Åkarp har särskilt svåra förhållanden beträffande bullerstörningar och möjligheter till bullerdämpning (Vägval för SV Skåne. 2004, sid 33). Burlöv är Sveriges näst minsta kommun med orterna Arlov och Åkarp. Störningarna har tilltagit i takt med ökande urbanisering och transporter i Skåne och internationellt. Tidigt har framhållits hypotesen att lokalklimatet i Åkarp förstärker bullerspridningen kraftigt. De topografiska förhållandena med Åkarp i en dalgång och omgivande öppna högre mark antas leda till att kalluft som bildas vid utstrålningsväder ansamlas i dalen till hög mäktighet. En dylik kalluftssjö kan få ljudbågar att böja av mot bebyggelse även på långa avstånd.

Tidigare lokalklimatstudier

Burlövs kommun lät beställa en särskild lokalklimatisk expertutredning för Åkarp (Mattsson 2005a) baserad på meteorologiska uppgifter och lokala observationer av topografi och vegetation i Åkarp med omgivningar. Utredningen gav starka indikationer på att markinversioner med sannolikt förhöjda bullernivåer var frekventa och varaktiga i Åkarp. Studien beskriver hur kalluft bildas under inversionsnätter på den omgivande öppna höglänta åkermarken. Kalluften bedöms rinna ner i den dalgång som Åkarp ligger i och i vars botten Södra stambanan löper. Det omgivande tillrinningsområdet med kalluftsbildning, vilket samtidigt är Alnarpsbäckens tillrinningsområde, är betydligt större än tätortens dalbotten – figur 1.



Figur 1. Åkarps tillrinningsområde.

¹ Jan O. Mattsson. Prof em Lunds universitet.

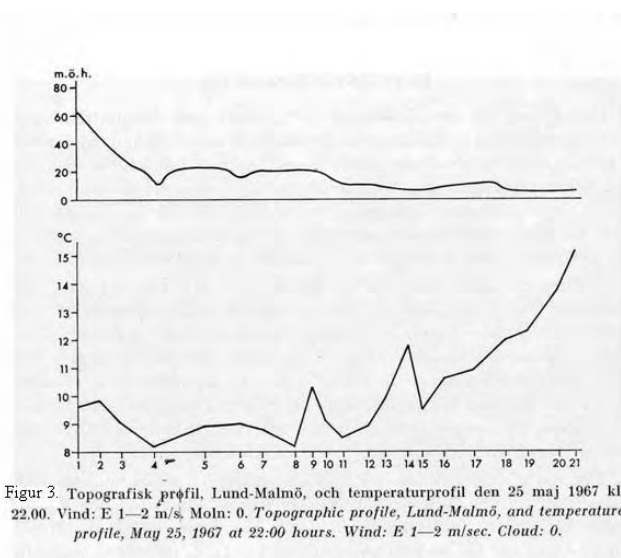
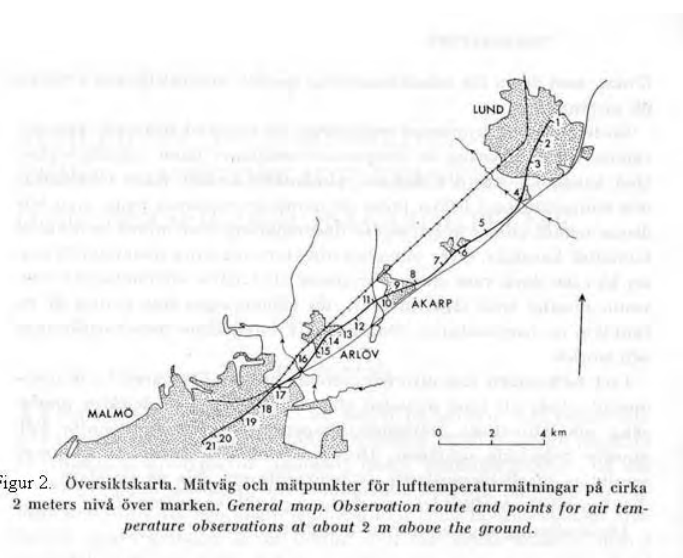
² John Wadbro. Forskningsassistent vid LTJFakulteten SLU Alnarp.

³ Pontus Thorsson. Tekn dr i akustik från Chalmers. I dag på Akustikverkstan AB.

⁴ Erik Skärbäck. Professor. SLU Alnarp. Projektledare.

I en kompletterande studie höll Mattsson (2005b) för troligt att kallluftsbildning sker i genomsnitt flera nätter per vecka under sommarhalvåret. Mattsson baserar sina bedömningar på bl a SMHI-data rörande molnmängd och vindhastighet över näraliggande Bulltofta för perioden 1963 – 1972.

Redan tidigare har kallluftsbildning i trakten studerats av Lindqvist (1967). Hans mätningar visar på stora temperaturdifferenser i det öppna landskapet runt Åkarp. Mätningarna gjordes utmed gamla Lundavägen mellan Malmö och Lund under en kväll med inversion 25 maj 1967. Studien visar att temperaturen för en punkt i det berörda tillrinningsområdet, jämte en mätpunkt i Höjeås dalgång, var den lägsta utmed hela mätsträckan. Att Höjeå utbildar markanta kallluftssjöar var då redan känt och året innan dokumenterat av Lindqvist. Temperaturdifferenserna på hela mätsträckan var betydande – figur 2 och 3 nedan.



Figur 2 och 3 från Sven Lindqvist (1967) visar bl a topografins stora betydelse för bildande av kallluftssjöar i det öppna landskapet med dalgångar mellan Lund och Malmö. Observera att mätprofilerna i figur 3 har Lund till vänster, till skillnad från figur 2 med Lund till höger.

Man noterar också att temperaturen inom tätorterna Åkarp (9) och Arlööv (14) är ca 2 grader högre än i utkanten av bebyggelsen. Den är också hög i slättområdet mellan tätorterna jämfört med i vissa lågområden, t ex Höjeås dalgång (4), Alnarpsåns upprinningsområde (8), samt väster om Åkarp mot Arlööv vid Mossvägen (11). Dessa lågområden tillförs kallluft.

Kallluftens beteende i kuperat öppet landskap har bl a beskrivits i samband med en bedömning av terrängens benägenhet att utbilda lokalklimat med gynnsam miljöinverkan inom områden med planerad bebyggelse i anslutning till tätorter inom Lunds kommun (Mattsson 1978).

Väder och bullermätningar 2006

Sommaren 2006 uppmätte John Wadbro under handledning av Jan O. Mattsson meteorologiska förhållanden i Åkarp, och under handledning av Pontus Thorsson bullret från järnvägen inom tätorten. Mätningarna gjordes varje kväll-natt-morgon under en sex veckor lång sammanhängande period, och syftet var att kartlägga omfattningen av markinversioner nattetid och ljudförstärkning som följd av kallluften. För en expertrapport till Burlövs kommun svarar Mattsson och Thorsson (2006).

Bullermätningarna gjordes dagligen kl. 20-07 under perioden 1 juli till 14 augusti 2006 i två master. Den ena var placerad 35 m från järnvägen nära dess korsning med landsvägen mot Alnarp på nivån 7 m ö h och den andra i en punkt sydost om den förra 700 m från järnvägen och på nivån 17 m ö h. Mätningarna gjordes på höjderna 5 m och 10 m över markytan i ”700-masten” och på 5 m höjd i ”35-masten” med en mätning av ekvivalentnivån och maximalnivån i tersbanden mellan 25 Hz och 5 kHz varje sekund.

Temperaturmätningarna genomfördes med strålningsskyddade givare under samma tidsperiod på dygnet i nämnda master på höjderna 2 m, 5 m och 10 m över markytan med en mätskanning varje tionde minut. I båda masterna mättes luftfuktigheten 2 m över markytan och i 700-masten vindriktning och vindhastighet 10 m över markytan. Också dessa mätningar gjordes med medelvärden för var tionde minut. Varje tågpassage filmades med videokamera för att möjliggöra en korrekt knytning tåg -- bullerhändelse.

Pontus Thorsson är ansvarig för bullerstudien, Jan O. Mattsson är ansvarig för inversionsstudien och John Wadbro svarade för det praktiska genomförandet av mätningarna. Projektledare gentemot Ljudmiljöcentrum Lund var Erik Skärbäck.

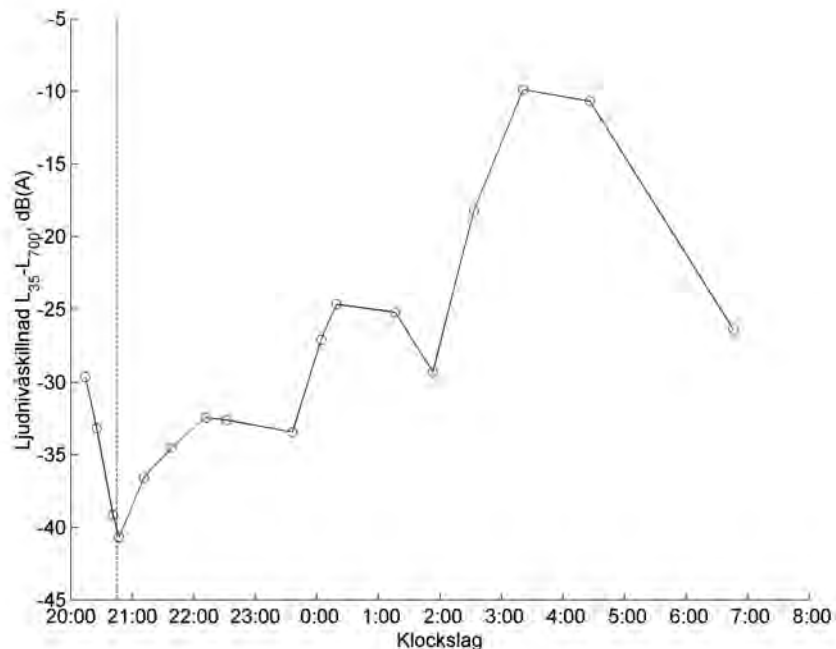
Mätningarna visade att den totala bullerförstärkningen i Åkarp nattetid (exemplet 3-4 juni) kunde uppgå till ”sannolikt betydligt mer än 30 dB(A).” (Mattsson och Thorsson 2006). Det är mer än vad som normalt gäller för medvindförhållanden och är inte beaktat i den gamla Nordiska beräkningsmodellen för tågbuller. Naturvårdsverket (1998) hänvisar till att de beräknade bullernivåerna ”vid särskilda väderförhållanden” kan korrigeras baserat på lokala meteorologiska förhållanden.

Enligt muntlig uppgift från docent Conny Larsson, Uppsala universitet har på Uppsalaslätten som mest uppmätts 25 dB(A) skillnad mellan dag och nattbuller vid inversion.

Antalet tågpassager med en maximalnivå högre än 65 dB(A) vid masten 700 m från järnvägen var 14 st under natten 3-4 juli, och för fem tåg var bullret ungefär 10 dB(A) kraftigare. Risken för överstigna maximalbullernivåer vid 700 m avstånd är därmed uppenbar (Mattsson och Thorsson 2006).

Antalet tågpassager med en maximalnivå högre än 65 dB(A) vid masten 700 m från järnvägen var 14 st under natten 3-4 juli, och för fem tåg var bullret ungefär 10 dB(A) kraftigare. Risken för överstigna maximalbullernivåer vid 700 m avstånd är därmed uppenbar. (Mattsson och Thorsson 2006, sid 5). Forskning har visat att en maximalnivå från vägtrafikbuller om 45 dB(A) i ett sovrum kan ge avsevärt försämrad sömnkvalitet, om den förekommer 8 ggr/timma (Öhrström 1995). En högre maximalnivå ger försämrad sömnkvalitet vid lägre antal händelser.

Vid den aktuella natten, 3-4 juli 2006, nådde inversionsskiktet 10 m-nivån i 35-masten kl 24 (figur 4). Genomsnittligt för fem beskrivna inversionsnätter nådde inversionsskiktet 10 m-nivån vid 35-masten redan kl 23. Därav drogs slutsatsen att den presenterade natten möjligtvis inte har den starkaste bullerförstärkningen, utan att det troligtvis förekommer ännu kraftigare inversionseffekter under andra nätter.



Figur 4. A-vägd ljudnivåskillnad mellan 35-masten och 5 m höjd på 700-masten, natten 3-4 juli.

Den största bullerförstärkningen inträffade på sennatten, omkring kl 03-04. Detta tyder på att kallluftssjön fortsatte att öka i mäktighet över 10 m efter midnatt. Av mätningarna drog Mattsson och Thorsson slutsatsen att den kallluftssjö som bildas vid inversion är djupare än bebyggelsens höjd och att ljudet kan gå i höga bågar över normalt sett skärmande bebyggelse och landa mot bebyggelse på stora avstånd.

Bakgrundsbullret, som framför allt härrör från E6 ca 1 km från 700-masten, uppgick kl 06 till omkring 48-50 dB(A). Det är betydligt mer än vad modellberäkning ger.

Bilpassagerna var i Åkarpsstudien 9 sekunder långa och tågpassagerna (14 st) varade 45-120 sekunder över bakgrundsbullret.

Skriftväxlingar efter väder- bullerstudien 2006

Banverket skriver i anteckningar från ett möte på SMHI 2007-04-27 att ”inversions- och ljudstudien visar att situationen i Åkarp förhåller sig på samma sätt som på många andra platser med slättlandskap med motsvarande terräng”. Längre fram skriver Banverket ”Beräkningsmodellen undervärderar ljudnivåerna vid kraftiga markinversioner, som de i Åkarp och vid andra likartade slättförhållanden”. Eftersom kallluftsbildningens mäktighet är direkt relaterad till omgivningens terräng, topografi och öppenhet, och ”likartade slättförhållanden” naturligtvis ger likartad bullerspridning, så kan utsagorna betraktas som ett slags cirkelbevis.

Magnusson, SMHI, skriver några månader senare (2007) ”För att man skall kunna komma vidare i denna fråga bör kontinuerliga ljud och meteorologiska mätningar göras under en tillräckligt lång period i samarbete mellan banverket och Burlövs kommun.” Naturvårdsverket anger i sina anvisningar för modeller att den s.k. Nordiska beräkningsmodellen för bullerspridning är kalibrerad för normalförhållanden och att särskild korrigering kan göras för särskilda väderförhållanden (SNV 1998).

Ett mätprogram förbereddes och föreslogs under sommaren till Banverket med kännedomskopia till SMHI. Banverket avvisade dock sin medverkan, med motiveringen att det skulle ta för lång tid och försinka projektet.

SMHI skriver i sitt yttrande (2007-08-24). ”En beräkningsmodell som denna underskattar förhållandena vid kraftiga markinversioner som de i Åkarp och liknade slättförhållanden. Beslutsunderlaget kan ytterligare förfinas genom att göra kontinuerliga ljud- och meteorologiska mätningar”.

I sin remissrapport senare (februari 2008), efter Miljödepartementets kompletteringsbegäran (2007), har Banverket tagit bort sista delen (”och liknade slättförhållanden”), vilket ger en helt annan mening. Det ändrar betydelsen till att Åkarps bullerpåverkande kallluftsbildning inte alls skulle vara annorlunda än för andra orter i öppet landskap.

Efter samtal mellan Burlövs kommun och SLU Alnarp beslutades om ett reducerat mätprogram i samverkan. Senare tillslöt SLU anslag inom ramen för SLU Partnerskap, samverkan mellan forskning och samhälle, teori och praktik.

I juni 2008 förmåddes kommunledningen skriva på ett avtal med banverket om djupt nedsänkt lösning, samt överdäckning 400 m genom samfinansiering

från kommunen och Region Skåne. En av förutsättningarna i avtalet är att de av banverket i järnvägsutredningen redovisade bullerberäkningarna är ”tillräckligt tillförlitligt underlag”.

Kommunfullmäktige beslutade i augusti (2008) att ”förtydliga att avtalet inte skall avses vara styrande för en kommande miljöprövning, utan utgör miniminivåer vad gäller åtgärder för bullerreducering såsom överdäckningarnas längd och järnvägens förläggningsdjup. Kommunen förutsätter att Miljödepartementet i sin prövning, utifrån vetenskaplig grund, gör en korrekt bedömning av bullersituationen i Åkarp och fastställer de skyddsåtgärder som är nödvändiga för att en utbyggnad i enlighet med miljöbalkens krav skall kunna genomföras.” Det är en viktig utgångspunkt för denna studie.

Denna studies syfte

Att stärka den vetenskapliga grunden för bedömning av bullerstörningar och bedömningar av behov av bullerskyddsåtgärder är ett huvudsyfte för denna studie.

Banverket hänvisar i sitt protokoll till docent Conny Larssons mätningar under ca 30 års tid på Uppsalaslätten. De ligger dock ej inom tätort. I Sverige förekommer inga bullerspridningsmätningar vid inversion i tätort utom för Åkarp. Det är vår uppfattning att det föreligger stora osäkerheter i att utifrån mätningar som begränsar sig till spridningen i öppet slättlandskap, utan bebyggelse, dra slutsatser om bullrets spridning inne i en tätort. Dessutom ligger Åkarp i en dal omgiven av öppet höglänt landskap till skillnad från den plana Uppsalaslätten. Det torde krävas ytterligare mätningar för att kunna hävda att bullerspridningsförhållandena är likartade.

För att få ytterligare klarhet i kallluftsskiktets mäktighet under inversionsnätter genomfördes under sommaren 2008 mätningar av temperaturdifferenser på upp till 50 m höjd med ballongmätning. Mätmetoden med ballong ger genom ballongens avdrift även observationer av hur vinden kan variera mellan olika luftlager.

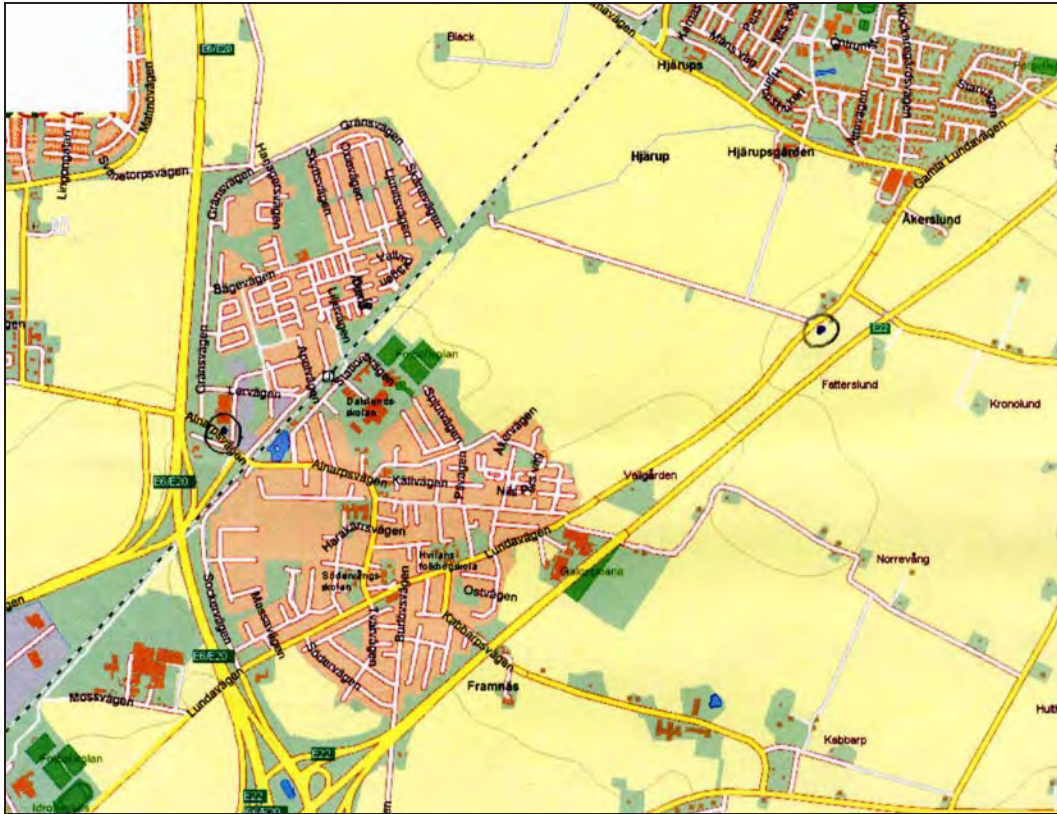
Genomförande

Temperaturmätningarna gjordes med hjälp av förankrad ballong av John Wadbro dels centralt i Åkarp, dels vid Lundavägen/Coyetvägen (figur 5).

Mätningarna utfördes under två omgångar:

- 1) nätterna 1-2 juli och 5-6 juli 2008 (Mattsson 2008a), samt
 - 2) 28-29 juli, 30-31 juli, 11-12 augusti och 30-31 augusti (Mattsson 2008b).
- Rapportering skedde till bl a Burlövs kommun, Banverket och SMHI.

Ballongen som var förankrad med en 50 m lång lina, bringades att stiga med konstant hastighet till full linlängd för att därefter sänkas, också med konstant hastighet. Mätningarna pågick under såväl upp- som nedfarten. Dock valdes mätresultaten från nedfarten, då dessa värden bedömdes vara minst störda av eventuell turbulens orsakad av ballongen, eftersom mätsensorn (termistor) var placerad under ballongen.



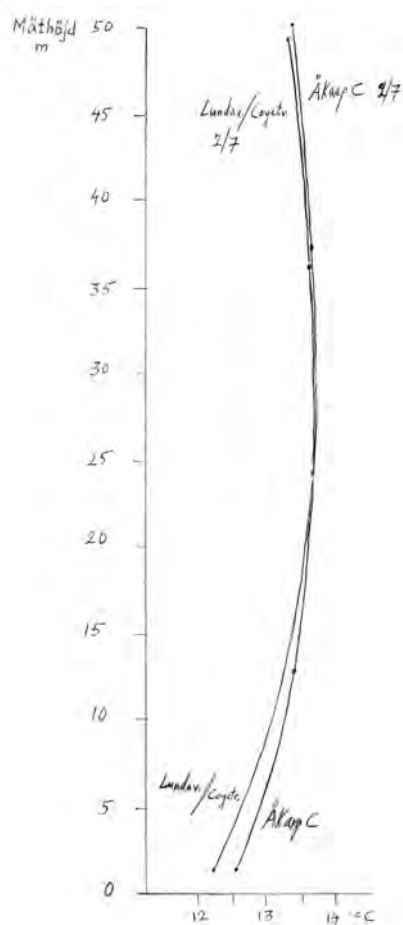
Figur 5. Två punkter för ballongsondering i Åkarp. Den västra benämns centrala Åkarp och den östra Lundavägen/Coyetvägen.

Omgång 1

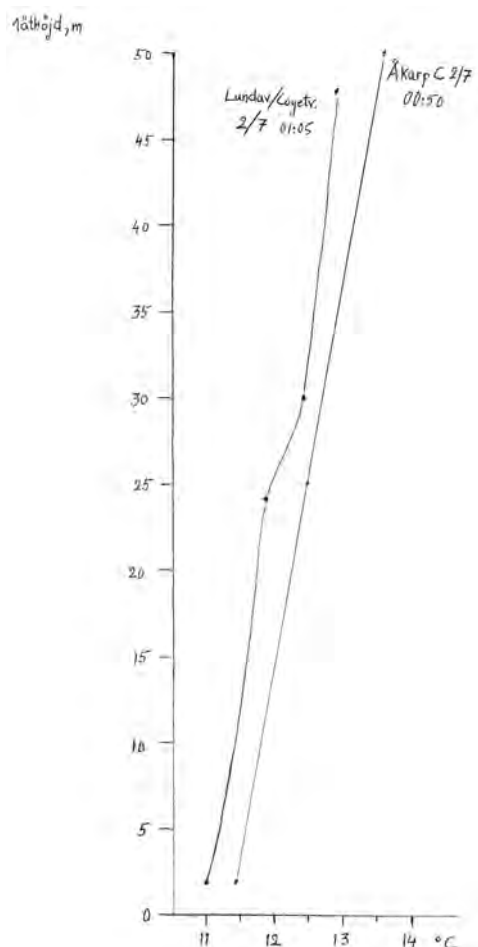
Mätresultat och observationer

Vid båda nätternas mättillfällen var himlen molnfri. Vid första (1-2 juli) förekom endast svag vind, medan vinden vid det andra (5-6 juli) var svag-måttlig. Inom inversionsskiktet rådde dock vindstilla eller förekom endast mycket svag vind. Vindstyrkan kunde grovt bedömas genom observation av ballongens avdrift. I lägsta skiktet stod ballongen i zenit och höjdvinkeln till dess position var alltså 90° .

Vid mätningarna i centrala Åkarp den 2 juli, kl 00.45, blåste en svag vind över ett 24 m mäktigt, marknära lugnskikt med något lägre temperatur än skiktet ovanför, dvs markinversion (figur 6).



Figur 6. Vertikal temperaturfördelningen vid sondering den 1-2 juli, 2008 i Åkarp.



Figur 7. Vertikal temperaturfördelningen vid sondering den 5-6 juli, 2008 i Åkarp.

Vid helt utsträckt lina (50 m) stod dock ballongen fortfarande i zenit (90°). Vid mätningarna under samma natt vid Lundavägen/Coyetvägen, kl 01.05, hade det marknära skiktet med vindstilla eller mycket svag vind en mäktighet av ca 11 m. Däröver förekom svag vind upp till den högsta höjden. På denna beräknad till ca 49 m, gav avdriften ballongpositionen en höjdvinkel av 75°-80°. Temperatursänkningen vid marknivån var något större vid Lundavägen/Coyetvägen än i centrala Åkarp, vilket kan förklaras av att den mätpunkten helt omges av åkerfält medan mätpunkten i centrala Åkarp delvis omges av asfaltytor och hustak som avger mer upplagrad värme under förnatten.

Vid mätningarna den 5-6 juli var skiktet med helt vindstilla i centrala Åkarp 7-8 m mäktigt (figur 7).

Vid en första sondering, kl 23.50, överlagrades detta skikt av ett skikt med vind, i vilket ballongens avdrift gav höjdvinkeln ca 45° vid linlängden 18 m

(höjd ca 13 m). Över denna nivå minskade höjdvinkeln ytterligare och uppgick till ca 30° vid längsta linlängd (höjd ca 25 m). Vid en andra sondering, kl 00.05, i centrala Åkarp överlagrades det marknära lugnskiktet av ett skikt med svag vind som gav ballongen höjdvinkeln 65°-70° vid linlängden 18 m (höjd 16-17 m). Kalluftsskiktet hade således ökat något. Temperaturen i kalluftsskiktet hade sjunkit med 1 grad. Temperaturskillnaderna är dock små och kan förklaras av vindvariationer. Vinden där ovanför gav ballonglinan en höjdinkel av 45° vid 25 m linlängd (höjd ca 18 m) och höjdvinkeln 30° vid 50 m linlängd (höjd 25 m). Vindhastigheten förefaller därför oförändrad på 25 m höjd. Samma natt rådde vid Lundavägen/Coyetvägen vindstilla från markytan till 5 m höjd över denna. Däröver gav vinden ballongen en avdrift resulterande i höjdvinkeln 45° på en beräknad höjd av ca 16 m. Över denna nivå var vindhastigheten än större. Vid fulla linlängden 50 m stod ballongen i en position med höjdvinkeln ca 30° (ca 25 m höjd).

Som framgår av figur 6 och 7 hade i centrala Åkarp vid båda nätternas mättillfällen utbildats en markinversion. En sådan förekom också i den mindre blåsig situationen (första natten) uppe vid Lundavägen/Coyetvägen (fig. 6), medan luftskikten där präglades av isotermer eller mycket svag, grund markinversion vid det blåsigare mättillfället (andra natten) fig. 7.

Diskussion och slutsatser

Som framgår av rapportens rubrik (Mattsson 2008a) utgör skrivelsen endast en underhandsredovisning av mätresultat. Hittills gjorda mätningar bekräftar dock att i nattsituationer med molnfri himmel och svag-måttlig vind kan grunda och/eller svaga markinversioner utbildas, speciellt över mark med lägivande vegetation och låg bebyggelse. Också dessa inversioners stabila skiktningförhållanden dämpar vindhastigheten nära marken, medan närmast ovanför liggande skikt utmärks av vind, stundom förstärkt. Temperaturkurvorna i fig. 7 ger exempel härpå.

Ballongmätningarna visar också att inversionsskiktet i centrala Åkarp kan öka under natten i mäktighet till över 16 m redan vid midnatt, och ge ökande temperaturfall. Vid Lundavägen/Coyetvägen, som är öppen mark och ligger i tillrinningsområdet för kalluft, är inversionsskiktet grundare sannolikt pga att kalluften rinner iväg neråt mot lägre nivåer.

Utbredningen av ljudvågor från en ljudkälla belägen i ett skikt med markinversion och vindstilla överlagrat av ett luftskikt med förstärkt vindhastighet torde påverkas av både temperaturskiktningen och den vertikala vindfördelningen. Ljudvågor som når upp till vindskiktet kröks tillbaka mot marken vid medvind. Temperaturskiktningen vid inversion medför nedkrökning oavsett utbredningsriktning. Vid mäktigt kalluftsskikt, högre än bebyggelsen, kan ljudet följa höga bågar över bebyggelsen. I Åkarp torde denna kombinationseffekt särskilt förstärka järnvägsbullret inom området öster om järnvägen, inom vilket också merparten av Åkarps tätort är belägen.

Lokaliseringen till västvindbältet och med vida, öppna slättområden västerut mot det närbelägna havet, Öresund, ger orten dominans av vindar inom den västliga sektorn. Situationer med sammanfallande västvindar och markinversion torde därför vara vanliga i Åkarp. Härtill kommer att en mäktig kallluftssjö kan uppträda i Åkarp vid relativ molnfrihet och lugnväder pga de särskilda topografiska förhållandena med dalstråk och omgivande tillrinningsområden som gynnar uppkomsten av markinversion med kraftig kallluftsansamling och bullerförstärkning.

Mätningarna 2006 visade på bullerförstärkning under merparten av hela mätperioden. Detta kan således eventuellt förklaras av att bullerförstärkning på den östra sidan järnvägen i Åkarp är frekvent och kraftig pga att medvindseffekt ofta tillkommer både vid stark och svag inversion.

Vi kan alltså i östra Åkarp ha att göra med en dubbeleffekt som ger kraftig bullerförstärkning både vid lugnväder och medvind. Kallluften bildar med sin tyngre luft en form av ”kudde” som dels ger viss läeffekt, dels pressar ihop den något varmare svaga vinden från väster så att den får något högre hastighet. Ljudbågar som kommer snett upp genom kallluftssjön kröks då tillbaka neråt av medvinden därovanför.

Vid något kraftigare vind blir kallluftsskiktet inte lika mäktigt, men å andra sidan blir ljudförstärkningen pga medvindseffekt sannolikt större. Men även vid viss vind förefaller enligt temperatursonderingarna markinversion kunna bildas i dalstråket genom Åkarp.

Mätpunkten för ballongsondering i centrala Åkarp ligger nära både järnvägen och E6, varför den är relevant även för bedömningar av motorvägsbullret. Dubbeleffekten med bullerförstärkning både klara lugna nätter och nätter med viss medvind torde förklara varför bullret från E6 sommaren 2006, översteg riktvärdena både på förnatten och efternatten hela mätperioden på hela 1 km avstånd öster om motorvägen inne i samhället.

En slutsats är att den nordiska beräkningsmodellen för bullerspridning inte ger tillfredsställande värden i Åkarp utan korrigering för särskilda väderförhållanden.

Omgång 2

Mätresultat och observationer

Vid mättillfällena var himlen molnfri. De mest marknära luftskikten präglades av endast svag vind eller vindstilla (ballongen i zenit). Över dessa skikt gav en måttlig till stark vind ballongen en avdrift från lodlinjen som i tabell 1 anges i höjdinkelgrader. Vindförhållandena redovisas samlat i tabell 1.

Vid mätningarna den 29 juli (figur 8) hade det marknära skiktet med vindstilla eller mycket svag vind en mäktighet av ca 15 m i centrala Åkarp och ca 10 m vid vägskalet Lundavägen/Coyetvägen. Över detta skikt blåste en frisk vind som gav ballongen en position av ca 45° över horisontalplanet.

Temperaturvärdena i Åkarp låg allmänt något över motsvarande värden vid Lundavägen/Coyetvägen. Inflytandet av asfaltytor och hustak som avger lagrad värme kan förklara dessa skillnader, precis som i omgång 1. En markant, men grund markinversion präglade det öppna landskapet. Också i Åkarp C förekom en temperaturinversion, som dock var påtagligt svagare i det mest marknära skiktet. På högre höjd skärptes dock inversionen. Vindförhållandena torde här ha haft betydelse.

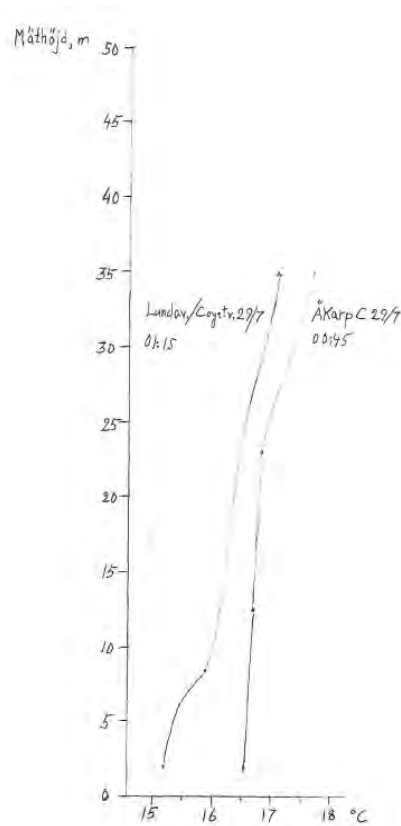
Tabell 1. Vindförhållanden vid mättillfällena

Mättillfälle	Åkarp			Lundav/Coyety.			
	skikt, m	höjd/vinkel	vindriktn.	skikt, m	höjd/vinkel	vindriktn.	
29 juli 08 kl. 00.45	2-12,5	90°	N	kl. 01.15	2-5	90° E	
	12,5-23	90°-45°	NE		5-8,5	90°-45° SE	
	23-35	45°	NE		8,5-35	45° SE	
31 juli 08 kl. 04.37	2-7,5	90°	E	kl. 05.03	2-5	90° ENE	
	7,5-25	50°-60°	E		5-14,1	90°-45° ESE	
	25-43,3	60°	ESE		14,1-35,3	45° ENE	
12 aug. 08 kl. 00.10	2-12,5	90°	S	kl. 00.40	2-5,4	90°-60° S	
	12,5-28,2	90°-70°	S		5,4-44,2	80°-45° S	
	28,2-49,8	70°-60°	S				
31 aug. 08 kl. 00.15	2-4,7	90°-70°	E	kl. 00.50	2-5	90° E-ESE	
	4,7-17,2	70°-60°	E		5-12,5	90° ESE-SE	
	17,2-29,5	60°	SSE		12,5-37,5	60° E	
	29,5-50	90°-75°	SSE		37,5-42	50° SSW	
	kl. 03.15	2-18,8	75°	NE	kl. 04.04	2-12,3	45° ENE
		18,8-37,5	75°	NE-SSE		12,3-22,7	45°-75° ENE
		37,5-50	75°	SSE		22,7-37,5	75°-90° ENE
				37,5-50	90°-75° WSW		

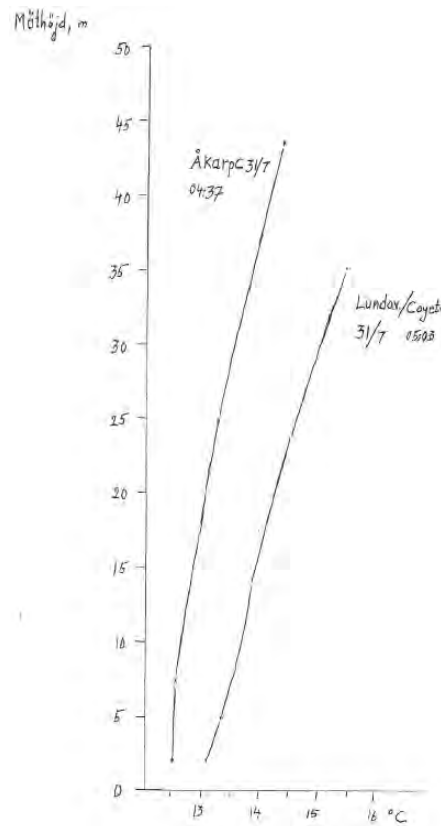
Vid mätningarna den 31 juli (figur 9) hade det lugna skiktet nära markytan en mäktighet av ca 10 m i Åkarp C och något därunder vid vägskalet. Den större ballongavdriften över den senare lokalen indikerar ett ökat vindinflytande här och förklarar förekommande övertemperatur jämfört med Åkarp C.

Skillnaden i vindhastighet mellan de båda lokalerna kan vara tillfällig (ca en halv timma mellan mättillfällena), men kan delvis också förklaras genom skillnader i vindexponering. Men också vid detta mättillfälle förekom en

markant markinversion i de understa skikten vid vägskälet, medan centrala Åkarp utvecklade närmast isotermi i dessa, överlagrad av skikt med inversionsförhållanden.



Figur 8. Vertikal temperaturfördelningen vid sondering den 29 juli, 2008 i Åkarp.

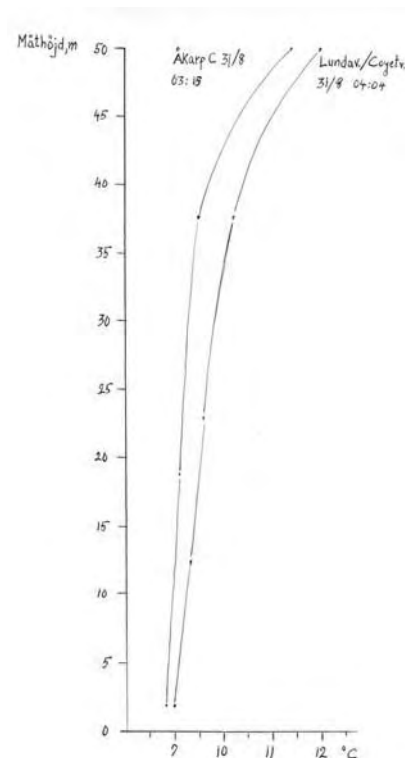
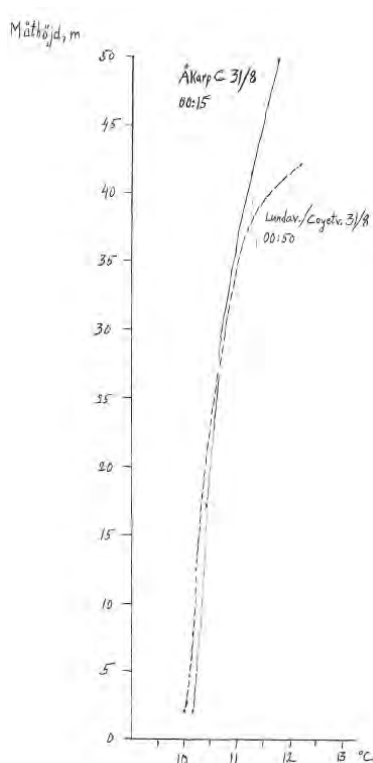
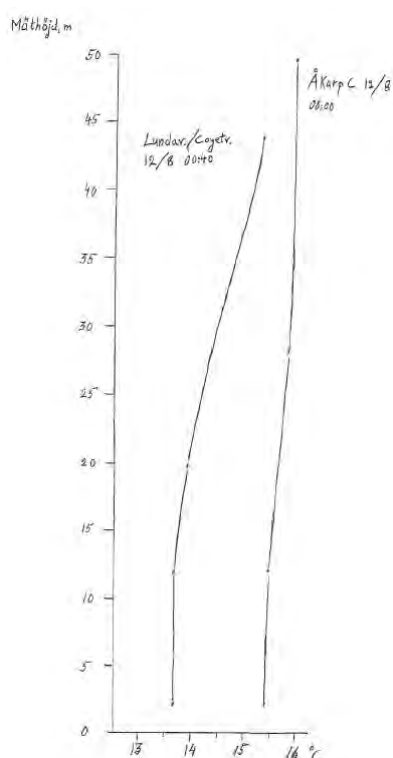


Figur 9. Vertikal temperaturfördelningen vid sondering den 31 juli, 2008 i Åkarp.

Natten den 12 augusti (figur 10) var Åkarp C åter varmest. Ett ca 15 m mäktigt lugnskikt utbildades i Åkarp C, medan lugnskiktet vid vägskälet var mycket grunt, 3 á 4 m. Isotermi präglade de undre skikten på båda mätplatserna i centrala Åkarp troligen en följd av ovan nämnda urbana influenser, vid vägskälet på grund av vindinflytandet också i de lägsta skikten. I de övre skikten utmärktes i synnerhet Åkarp C för inversion. Vindinflytandet var här fortfarande mindre än över de öppna fälten vid vägskälet.

För natten den 31 augusti föreligger två sonderingar för vardera mätplats, en omkring midnatt (figur 11) och en under sen-natten (figur 12). Lugnskiktet vid de första sonderingarna var påtagligt grundare i centrala Åkarp än över de öppna fälten. I högre skikt var dock vindhastigheten högre över de öppna fälten. Temperaturskillnaderna mellan de båda mätplatserna var obetydliga utom i högre skikt där Lundavägen/Coyetvägen uppvisade högre temperaturer än motsvarande nivåer i Centrala Åkarp.

Sonderingarna för sen-natten genomfördes vid genomgående svag vind i Åkarp C. Över fälten var vinden mera växlande. Närmast markytan var vinden här kraftig för att sedan avta med höjden till närmast vindstilla 35-40 m över markytan. Över denna höjd ökade vindhastigheten åter och gav ballongen en avdrift som, uttryckt i höjdvinkelgrader, uppgick till 75°. Vindvridningen i högre skiktet stod kvar. De växlande förhållandena över fälten försvårar en jämförelse vad gäller temperatur med Åkarp C. För båda lokalerna gäller dock att inversionen är mest uttalad i de övre skikten. Den närmast isoterma skiktningen i Åkarp C torde betingas av de urbana faktorerna enligt ovan och ett visst vindinflytande också i de understa luftskikten. Dämpningen av inversionen i undre skikt vid vägskälet får väl närmast betraktas som vindbetingad.



Figur 10. Vertikala temperaturfördelningen vid sondering den 12 augusti, 2008 i Åkarp.

Figur 11. Vertikala temperaturfördelningen vid sondering den 31 augusti, 2008 (mid-natt) i Åkarp.

Figur 12. Vertikala temperaturfördelningen vid sondering den 31 augusti, 2008 (sen-natt) i Åkarp.

Diskussion och slutsatser

De mätningar som redovisats i andra omgången bekräftar att markinversioner kan förekomma i aktuella miljöer också vid svag-måttlig vind. Inversionerna är dock vanligen svaga men kan ofta innefatta större delen av det sonderade luftskiktet. Några av sonderingarna påvisade en kraftig temperaturhöjning i skiktets övre delar vilken möjligen står i samband med en med höjden snabbt ökande vindhastighet. Markinversionernas stabila skiktningförhållanden dämpar vindhastigheten nära marken, medan närmast ovanför befintliga skikt

utmärks av vind, stundom förstärkt. Tyvärr var inget av mättillfällena helt idealiskt för demonstration av kallluftens bildning, rörelse och deposition. Härtill hade krävts ett mera utpräglat "utstrålningsväder" med klar himmel och svag-obefintlig vind inom mer omfattande delar av det sonderade luftskiktet. Mätningarna bekräftar dock förekomsten av stabila temperaturskiktningar i undre luftskikt också vid vind.

I tidigare rapport (Mattsson 2005a) beskrivs hur kallluft sannolikt rinner ner i Åkarpsdalen från omgivningen. Föreliggande mätningar bekräftar detta, eftersom kallluft inte synes bildas inom tätorten pga värmeöverföring från hårdgjorda ytor såsom asfaltytor och hustak, men uppträder som ett skikt ovanför. Den torde därför främst ha kommit dit genom tillrinning från omgivningen. Detta kallluftsskikt sträcker sig tydligt över bebyggelsen, och överlagras ofta av skikt med ökande vind, som pressar ner ljudvågorna mot bebyggelse och på det viset förstärker bullereffekterna. Vinden är företrädesvis västlig och tätorten ligger till största delen öster om järnvägen.

Tätorter i plan slättbygd får inte motsvarande tillrinning av kallluft från högre belägna ytor, vilket ej främjar uppkomsten av höjdinversioner och därmed av kombinationseffekt på ljudutbredningen av kallluftsjö och medvind.

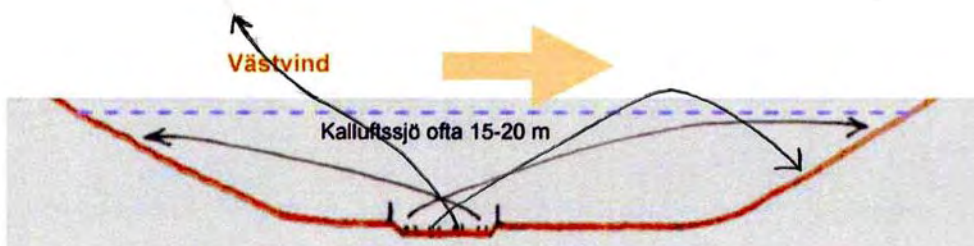
Temperaturstudierna i och utanför bebyggelsen i Åkarp visar att temperaturinversion i undre luftskikt här kan bildas under såväl klara, vindstilla nätter som under klara nätter med svag till måttlig vind. Bland bebyggelsen är inversionen svagare än över utanför liggande öppen mark men omfattar ofta ett något mäktigare skikt, som når upp över hustak och trädvegetation. I de undre luftskikten medför byggnader och i övrigt hårdgjord mark (tegel, sten, asfalt och betong etc.) att ett varmare skikt uppkommer närmast marken. Kallluftproduktion förekommer, något försvagad, också över öppna ytor i själva samhället, men är mest påtaglig över de öppna fälten varifrån den rinner ner i Åkarpsdalen .

Slutsatser beträffande ljudutbredning

Den stabila temperaturskiktning som representeras av inversioner har en markant påverkan på ljudutbredningen, i det att ljudvågor böjs av mot de marknära skikten. Medvind ger liknande effekt, och då de rapporterade mätningarna indikerade skikt med vind över kallluftskiktet kan man således förvänta nedböjning även i högre luftlager. Med Åkarps läge i västvindsbältet påverkar denna medvindseffekt företrädesvis bebyggelsen öster om järnvägen.

Mätresultaten med ballongsondering stämmer väl med resultatet av de kombinerade mätningarna av meteorologi och ljud sommaren 2006. De förklarar också varför ljudet böjs ner mot bebyggelsen. Bullerförstärkningar kan således fås inte enbart genom att ljudet går i bågar inom kallluftssjön som

ibland når över bebyggelsen, utan även som en kombinationseffekt av temperaturinversionen och medvinden (figur 13).



Figur 13. Kombinationseffekten i Åkarp, principbeskrivning. Kalluft kan förekomma i dalen även vid viss vind. I kalluften är vinden ofta försvagad. Ovanför kalluftsskiktet kröker medvind ner ljudbågarna, tillbaks ner i kalluftssjön.

Enligt vår mening har andra tätorter med omgivande plan slättbyggd sällan motsvarande tillrinning av kalluft från omgivningen, vilket sammanhänger med de topografiska förhållandena. Ljudspridningsförhållandena hos orter i jordbruksbygd skiljer sig beroende på om de ligger i en dalgång och omgivningen är högre belägen, eller om omgivningen ligger i samma nivå eller lägre. Det senare är typiskt för Södermanland, Uppland och Östergötland med sedimentära leror olämpliga för byggnation. Där ligger bebyggelsen i allmänhet på omgivande högre belägna moränmarker.

För Uppsalaslätten har visats hur ljudet vid inversion kan ”studsa” fram i låga bågar, 2-3 m höga, över långa sträckor där det inte finns bullerdämpande hinder (Hallberg, Larsson and Israelsson 1988). Motsvarande mätningar i tätortsförhållanden har i Sverige inte gjorts för ljudbågars fortplantning, men bostadshus och andra byggnader i tätorten skärmar troligtvis den flacka utbredningen. Eftersom bebyggelsen på Uppsalaslätten, Sörmlandslätten och Östgötaslätten ligger av tradition och pga geotekniska förhållanden på de höglänta moränmarker som omger de mer låglänta odlingsbara slätterna, så är situationen i princip omvänd mot vad som gäller i Åkarp, där bebyggelsen ligger lägre än omgivande öppen mark. Detta talar emot att Åkarp uppvisar ”väder och ljudutbredningsförhållanden som är typiska för slättbygd” (Banverket 2007).

Vad beträffar frekvensen, hur ofta ljudförstärkning uppstår, så har visats av statistik (Mattsson 2005a, b) att markinversion med kalluftsbildning sannolikt uppstår flera nätter per vecka under sommarhalvåret. När det nu har visats att markinversion även kan inträffa vid viss vind, kan bullerförstärkning uppstå oftare, särskilt i kombination med medvind. Det kan förklara varför nattbullret från E6 mätt vid mätmasten 1 km öster om E6 kunde uppmätas så högt (Mattsson och Thorsson 2006) .

Mätresultaten från ballongmätningarna förklarar varför ljudet kröks ner mot bebyggelse igen även för långa avstånd. Förklaringen torde inte bara gå att finna i ljudbågar inom kalluftssjön som går över bebyggelsen och kommer ner igen, utan även i en kombinationseffekt av krökning på grund av

temperaturinversion samt medvindseffekt. Sannolikt ger också kallluftsskiktet en hoppresning och därmed ökning av luftströmmarna precis ovanför, vilket kan medföra en kraftigare fokusering av ljudvågorna mot bebyggelse.

Mätningarna bekräftar tidigare slutsats att Åkarps bullerpåverkande lokalklimatförhållanden är så speciella att användningen av den gamla Nordiska beräkningsmodellen utan korrigering ger alltför låga bullernivåer med hänsyn tagen till de klimatförhållanden som råder på orten. Den gamla Nordiska beräkningsmodellen utgår från normala förhållanden. Någon korrigering för särskilda väderförhållanden, vilket Naturvårdsverket föreskriver i sina anvisningar för modellens användning, har inte gjorts. Beräkningsunderlaget för nattstörningar blir inte alls tillförlitligt. Det finns bättre av myndigheterna godkända metoder för sådana förhållanden (Nord 2000, och den sameuropeiska Harmonoise Engineering Method). Om det finns en bättre metod än den gängse, så skall den enligt miljöbalken användas.

Behov av skydd mot bullerstörningar

Ballongmätningarna 2008 syftar primärt till att kartlägga kallluftssjöns mäktighet under inversionsnätter för att bättre kunna bedöma orsaken till de höga uppmätta bullernivåerna nattetid sommaren 2006 och för att därav kunna dra bättre slutsatser om behovet av skydd mot oacceptabla nattstörningar.

Förhärskande vindriktning i området är W-SW, samma riktning som Södra stambanans genom Åkarp. Ljudbågar som möter medvind uppstår därför vanligast relativt parallellt med spåren (figur 14). Därför blir det relativt stort avstånd mellan bullerkälla och skärm jämfört med vinkelrätt vindriktning. Den effektiva insättningsdämpningen av en skärm blir då reducerad.



Figur 14. Förhärskande vindriktning gör att ljudbågar till stor del uppstår i ungefär samma riktning som järnvägen.

Behovet av skydd mot dagstörningar har samband med nattstörningarna i så måtto att människor som fått sin nattsömn störd fungerar sämre under dagen, både subjektivt och objektivt (Öhrström 1995). Med den kraftiga exponeringen av buller från omgivande motorvägar har Åkarp särskilt stort behov av bullerfria miljöer.

En förskola ligger ca 100 m från järnvägen och LMH-skola på ca 200 m avstånd. Barns inlärningsförmåga har visat sig påverkas negativt av högt buller (Hygge 2003). En viktig fråga att få svar på är om det går att undvika oacceptabla störningar för barnen utan överdäckning i höjd med Dalslunds förskola och LMH-skola?

Det faktum att bullerstörningarna kommer från olika trafikslag motiverar i än högre grad extra behov av bullerskydd. Undersökningar i Lerum visar att i områden med sammanlagda bullernivåer över $L_{Aeq, 24h}$ 55 dB från både vägtrafik och tåg är störningarna mer omfattande än då endast en av bullerkällorna förekommer vid samma bullernivå (Öhrström & Barregård 2005). Författarna påtalar ”vikten av att i miljömedicinska bedömningar och åtgärder mot buller även mäta och bedöma effekterna av den *totala* bullerexponeringen och inte enbart bullernivåerna från enskilda källor” (ibid). Samma slutsats beskrivs som mycket viktig i slutrapporten från forskningsprogrammet ”Ljudlandskap för bättre hälsa” (Gidlöf Gunnarsson 2008). Samma rapport framhåller att trafikbuller inte är en komfortfråga utan en klar riskfaktor för folkhälsan. Vidare beskrivs att man inte kan skapa goda boendemiljöer genom enbart åtgärder som syftar till bättre ljudklimat inomhus, utan en bra boendemiljö innefattar även ljudmiljön utanför bostaden och i närmiljön (ibid).

Den i Sverige använda ”tågbonusen” på 5 dB(A) högre ekvivalentnivåer vid bostäders fönster är inte odiskutabel ur sömnstörningshänseende. En nyligen gjord sömnstudie visar att det inte finns signifikanta skillnader mellan tågbuller och vägtrafikbuller vad gäller upplevd sömnkvalité i en normal boendesituation där fönstret till sovrummet är öppet lite grann (Öhrström et al 2008). Lerumsstudien kunde heller inte förankra tågbonusen vetenskapligt för verkliga boendemiljöer (Öhrström & Barregård 2005). Bakgrunden till tågbonusen är att frekvensspektrat för tågbuller är mer koncentrerat till högre frekvenser där fasadernas ljudisolering är bättre, vilket resulterar i en lägre inomhusnivå vid samma A-vägda bullernivå på fasaden. Avskärmningar ger störst effekt vid högre frekvenser vilket medför att spektrumet i en skärmad situation är annorlunda. Här fungerar byggnader på samma sätt som bullerskärmar, d v s för de hus som inte ligger direkt exponerade för tågbuller är de högre frekvenserna dämpade mer än de låga. Användningen av tågbonusen i det aktuella sammanhanget är därmed diskutabel.

Sammanfattning

Ballongmätningarna visar att inversionsskiktet i centrala Åkarp kan öka under natten i mäktighet till över 16 m redan vid midnatt, och ge ökande temperaturfall. Dessutom visas att temperaturinversion i undre luftskikt här kan bildas under såväl klara, vindstilla nätter som under klara nätter med svag till måttlig vind. Bullerförstärkningar kan fås inte enbart genom att ljudet går i bågar inom kalluftssjön som ibland når över bebyggelsen, utan även som en kombinationseffekt av temperaturinversionen och medvind som kröker ner ljudbågarna tillbaka ner i kalluftssjön.

Med dominerande vindar från väst-sydväst kan vid inversion oacceptabla störningar inträffa i östra och centrala delarna om överdäckning inte arrangeras i väster. Eftersom järnvägens riktning sammanfaller med förhärskande vindriktning, W-SW, är det möjligt att en stor andel av ljudbågarna inte stoppas av sidoskärmar.

Vi anser att Nordiska beräkningsmodellen ger alltför låga bullernivåer med hänsyn tagen till de klimatförhållanden som råder på orten. Beräkningsunderlaget för nattstörningar blir inte alls tillförlitligt. Det finns bättre av myndigheterna godkända metoder för sådana förhållanden. Om det finns en bättre metod än den gängse, så skall den enligt miljöbalken användas.

För dimensioneringen av miniminivån för bullerskydd bör även hänsyn tas till överlagrat buller från motorvägarna. Dimensioneringen måste också beakta expansionen i Öresundsregionen med kraftigt ökande trafik och överföring av transporter från väg till järnväg.

Referenser

- Banverket. 2007. Protokoll från möte med SMHI och Uppsala universitet. 2007-04-27.
- Burlövs kommun. 2008. §61 i kommunfullmäktiges protokoll 2008.08.08.
http://www.burlov.se/upload/doc/politik/protokoll/KF/2008/KF_20080818.pdf
- Gidlöf Gunnarsson, Anita (red). 2008. Ljudlandskap för bättre hälsa. Resultat och slutsatser från ett multidisciplinärt forskningsprogram. Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet.
- Hallberg, Bengt, Conny Larsson and Sven Israelsson. 1988. Numerical ray tracing in the atmospheric surface layer. The Journal of the Acoustic Society of America. Vol. 83, No. 6, June 1988, pp 2059-2069.
- Hygge, Staffan. 2003. Classroom experiments on the effects of different noise sources and sound levels on long-term recall and recognition in children. Applied Cognitive Psychology, 17, 895-914.
- Lindqvist, Sven. 1967. Indikering av bebyggelse- och topografibetingade temperaturdifferenser med infrarödteknik. Svensk geografisk årsbok 43. 1967.
- Magnusson, Mikael. 2007. Kommentarer till inversionsstudier i Åkarp. SMHI.
- Mattsson, Jan O. 1978. Bedömning av terrängens benägenhet att utbilda lokalklimat med gynnsam miljöinverkan inom områden med planerad bebyggelse i anslutning till tätorter inom Lunds kommun. Stadsarkitektkontoret i Lund.
- Mattsson, Jan O. 2005a. Bedömning av lokala inversionsförhållanden i Åkarp. 2005-06-27, Department of Physical Geography and Ecosystems Analysis. Lund University.
(http://www.burlov.se/kommunens_service/bygg_anlaggningsforv/yttrande_SSB/Bilaga3.pdf)
- Mattsson, Jan O. 2005b. Komplement till utredning om inversionsförhållanden i Åkarp. 2005-12-07. Department of Physical Geography and Ecosystems Analysis. Lund University.
(http://www.burlov.se/kommunens_service/bygg_anlaggningsforv/yttrande_SSB/Bilaga3.pdf)
- Mattsson, Jan O. 2008a. Ang. Södra stambanan genom Åkarp – Underhandsredovisning av resultat av temperaturmätningar med ballong i Åkarp v 27, 2008. Kommunstyrelsen i Burlöv.
- Mattsson, Jan O. 2008b. Angående Södra stambanan genom Åkarp – Redovisning av fortsatta temperaturmätningar med ballong i Åkarp sommaren 2008. Kommunstyrelsen i Burlöv.
- Mattsson, Jan O. och Pontus Thorsson. 2006. Studier av markinversioners inverkan på spridningen av järnvägsbuller i Åkarp. Utredning på uppdrag av Burlövs kommun.
- Miljödepartementet 2007. Tillåtlighetsprövning enligt 17 kap. miljöbalken av

utbyggnad av Södra stambanan, delen Arlöv-Flackarp i Burlövs och Staffanstorps kommuner. M2006/1527/F/M. Regeringskansliet

Naturvårdsverket. 1998. Buller från spårburen trafik. Naturvårdsverket Rapport 4935, sid 12.

Vägval för SV Skåne, Konsekvenser av öppen respektive täckt breddning av järnvägen genom Åkarp, Burlövs kommun. 2004.

<http://www.burlov.se/upload/doc/bygg/södrastambanan/Bilaga7.pdf>

Yttrande över remiss Utbyggnad av sträckan Arlöv-Flackarp till fyra spår, Södra stambanan. SMHI 2007-08-24.

Öhrström, Evy. 1995. Effects of low levels of road traffic noise during the night: A laboratory study on number of events, maximum noise levels and noise sensitivity. *Journal of Sound and Vibration* 179, sid 603-615.

Öhrström, Evy och Lars Barregård m fl. 2005. Undersökning av hälsoeffekter av buller från vägtrafik, tåg och flyg i Lerums kommun. Västra Götalandsregionens Miljömedicinska centrum och Sahlgrenska akademien vid Göteborgs universitet. ISSN 1400-5808.

Öhrström, Evy, Mikael Ögren, Tomas Jerson och Anita Gidlöf Gunnarsson. 2008. Experimental studies on sleep disturbances due to railway and road traffic noise. 9th International congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008, Foxwoods, CT, USA.