



Byggematerialers indflydelse på indendørs mobildækning

Med de stadigt stigende krav til bygningers energimæssige ydeevne, både for nye og eksisterende bygninger, introduceres ofte byggematerialer der fungerer som et skjold mod indtrængen af radiobølger. Det drejer sig især om vinduer med metal coating til reduktion af varmetabet eller reduktion af solindfaldet, og isolering af lette konstruktioner med dampbremse af metalfolie. Desuden medvirker tunge konstruktioner generelt til at reducere indtrængning af radiobølger (Skouby K.E., Tadayoni R og Koefoed N., 2014).

ENERGI OG MILJØ
 A.C. MEYERS VÆNGE 15
 2450 KØBENHAVN SV
 SBI.DK
 CVR 29 10 23 84

+45 9940 2525
 KIM B. WITTCHEN
 KBW@SBI.AAU.DK

DATO 13.01.2016
 JOURNAL NR.: 761106

En af hovedårsagerne til reduktionen af energibehovet i bygninger som er sket over de seneste år kan tilskrives udviklingen af vinduer med forbedret isoleringsevne. Grunden til denne udvikling skal findes i introduktionen af tynde metalbelægninger på glassene i moderne lavenergivinduer som reflekterer varmestrålingen tilbage i bygningen eller holder solstrålingen ude. Ud over at reflektere varmestråling fungerer en metalbelægning som et Faradays bur over for elektromagnetiske bølger og reducerer dermed mobilsignalernes mulighed for at trænge ind i bygningerne. Varmetabet gennem en moderne lavenergirude er ca. 25 % af varmetabet gennem en traditionel tolags termorude (uden metalbelægninger). Det er derfor ikke sandsynligt, at brugen af denne type ruder vil blive begrænset med henblik på en forbedring af den indendørs mobildækning.

Som et særkende i dansk byggetradition benyttes typisk beton og andre tunge byggematerialer. Disse materialer fungerer også som en skærm mod indtrængen af radiobølger. Armeringen i betonen kan yderligere fungerer som et Faradays bur. Det er næppe sandsynligt at denne tradition ændres radikalt inden for en overskuelig tidsperiode da materialerne er anerkendt for deres lange holdbarhed og branchens store erfaring med brug af materialerne.

Ikke kun tunge byggematerialer kan medvirke til at bremse indtrængningen af radiobølger i en bygning. I lette konstruktioner, fx træ, hvor der benyttes aluminiumsfolier til sikring af lufttæthed vil der opstå en tilsvarende reduktion af gennemgangen af radiobølger gennem bygningens tag og ydervægge. I tabel 1 ses dæmpningen af et radiosignal ved passage af forskellige byggematerialer der ofte benyttes i danske bygninger.

Ud over dæmpningen fra selve byggematerialerne vil der også være en forskel i signalstyrken for et mobilsignal, afhængig af hvor langt inde i bygningen en given modtager er placeret. Det må således forventes, at en placering i bygningens kerne vil have ringere modtageforhold end hvad der ses for en placering langs bygningens facade, alene på grund af dæmpningen fra taget og evt. overliggende etagedæk.

Tabel 1. Eksempler på målt reduktion af mobilstråling ved forskellig frekvens, efter passage af udvalgte byggematerialer og en samlet afstand på 1 meter mellem modtager og signalgiver. Kilde: Skouby et al., 2014.

Tab ved passage af byggematerialer	900 MHz	2,4 GHz	5 GHz
Vindue med enkeltglas	10 dB	16 dB	35 dB
Dobbeltrude med lavemission belægning	25 dB	28 dB	30 dB
Dobbeltrude med lavemission belægning og solafskærmende belægning	30 dB	42 dB	55 dB
Dobbeltrude med lavemission belægning og 2 solafskærmende belægninger	30 dB	42 dB	55 dB
Trelagsrude med lavemission belægning	20 dB	20 dB	25 dB
Teglvæg med tom hulmur	10 dB	17 dB	25 dB
Teglvæg med isoleret hulmur	10 dB	10 dB	20 dB



Det er næppe sandsynligt at der fremover vil blive slækket på kravene til bygningerne isoleringsevne da der er tale om en national og Europæisk strategi for reduktion af bygningsmassens energibehov og dermed belastningen på miljøet. Det er bl.a. EU's mål (Europaparlamentet, 2010) at alle nye bygninger opført efter 2020 skal være at betegne som "næsten nulenergi" bygninger. Dette mål er udmøntet i det danske Bygningsreglement (Trafik og Byggestyrelsen, 2015) som den frivillige Bygningsklasse 2020, som har en ramme for brug af primærenergi der er ca. 75 % under rammen for bygninger opført i henhold til mindstekravet i henhold til referencen i Bygningsreglementet 2008 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2008).

Eksempler på mobildækning i lavenergibygninger

Forskere (Asp et al., 2012) ved afdelingen for Elektronik og Kommunikation på Tampere Universitet for Teknologi (TUT) har undersøgt udbredelsen af reduceret mobildækning i boliger (15 lavenergi enfamiliehuse og 4 etageboligblokke). I alle tilfælde er der foretaget en sammenligning af signalstyrken fra kommercielle netværk indendørs og udendørs ved 2 forskellige frekvenser (900 og 2100 MHz). Desuden er der gennemført en undersøgelse af dæmpningen af mobilsignaler ved passage af byggematerialer, svarende til undersøgelsen fra Aalborg Universitet. Resultaterne peger på (Tabel 2), at materialer som lavenergivinduer og aluminium-baserede polyuretan plader (typisk for finsk byggetradition med lette konstruktioner) giver en markant reduktion af mobilsignalerne for de mest anvendte frekvenser til mobilkommunikation (900 og 2100 MHz).

Tabel 2. Gennemsnitlig dæmpning (dB) af mobilsignalet ved 900 hhv. 2100 MHz i finske enfamiliehuse og materialer brugt i husenes ydervægge og vinduer.

Hus	Hovedkonstruktion	Isoleringsmateriale	Vinduer	900 MHz	2100 MHz
1	Træ	Polyuretan (aluminium)	3-lags	13,3	24,0
2	Træ	Mineraluld	3-lags	5,2	8,9
3	Sten	Styrofoam	3-lags	14,3	20,5
4	Træ	Polyuretan (2x aluminium)	4-lags	17,6	23,8
5	Træ	Polyuretan (aluminium)	Træpanel ¹⁾	7,8	9,9
6	Træ	Mineraluld	3-lags	1,3	11,4
7	Træ	Glasuld	4-lags	3,2	9,1
8	Træ	Glasuld	3-lags	2,7	10,2
9	Teglblokke	-	3-lags	15,5	19,5
10	Tegl	Polyuretan (aluminium)	3-lags	21,4	24,9
11	Tegl	Styrofoam	3-lags	17,9	19,0
12	Træ	Polyuretan (aluminium)	3-lags	12,9	20,9
13	Træ	Polyuretan (aluminium)	3-lags	9,2	12,5
14	Sten	-	3-lags	15,9	23,5
15	Træ	Mineraluld	3-lags	6,6	8,6

1) Vinduerne var midlertidigt udskiftet med træpaneler i forbindelse med gennemførelse af målingerne. Kilde: Asp et al., 2012.

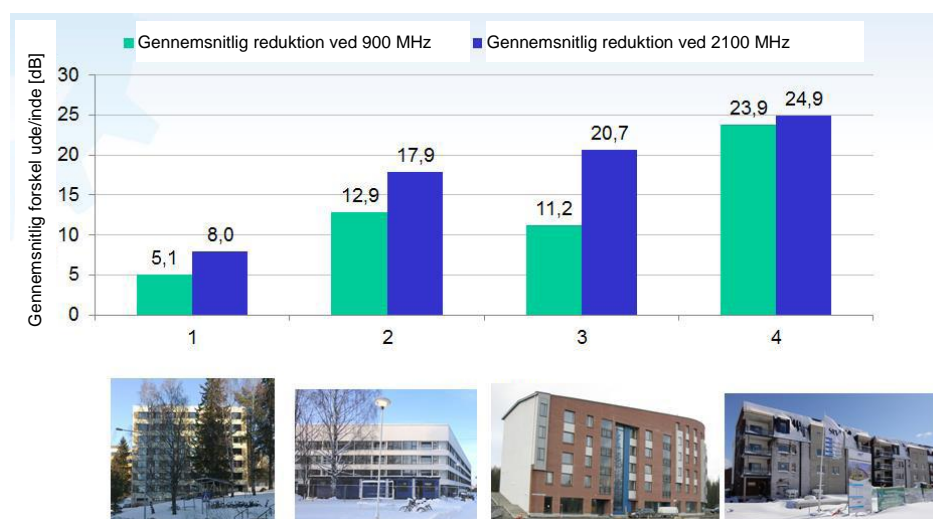
Den finske undersøgelse viser yderligere, at radiosignalernes indtrængen i nye bygninger kan være ned til 1 % (20 dB) af det signal der kan findes i bygninger der er 10 år gamle. I følge målingerne er forskellen i reduktion mellem nye og gamle bygninger i gennemsnit 13 dB, svarende til ca. 1/80 af den oprindelige signalstyrke.

Det må forventes at problemets udbredelse vil stige fremover og vil ikke alene omfatte nye bygninger, men også eksisterende bygninger der har gennemgået en energirenovering.

Det forventes at problemer med modtagelse af radiosignaler hovedsagligt vil optræde i bygninger af beton og andre materialer der yder en naturlig dæmpning i

samspil med indførelse af lavenergivinduer med belægninger af metal. Indførelse af lette konstruktioner i såvel nybyggeri som i forbindelse med efterisolering, med metalfolier til sikring af lufttæthed vil også reducere muligheden for indtrængning af mobilsignaler.

En betydelig del af den eksisterende bygningsmasse består af betonelementer og her er radiosignalerne hidtil kommet ind gennem vinduerne. Udskiftning af vinduerne i forbindelse med energimæssig opgradering af bygningerne vil medføre en risiko for reduceret indendørs mobildækning.



Figur 1. Forskel mellem indendørs og udendørs mobilsignal i 4 finske etageboliger. Kilde: Skouby et al., 2014.

RF-åbninger i klimaskærmen

I AAU-rapporten vurderes det muligt at etablere såkaldte RF åbninger i en bygnings klimaskærm med henblik på at lade radiobølger passere næsten uhindret. Det burde umiddelbart være muligt at etablere sådanne åbninger, fx i betonfacader så længe bygningen overholder energirammen. En RF åbning er en del af klimaskærmen der lader en større del af mobilstrålingen passere end den omgivende konstruktion. Dette vil dog medføre en del udfordringer med hensyn til stabilitet, arkitektur og lyd, ligesom det potentielt vil kunne resultere i udfordringer med hensyn til fugt da åbningen skal have en vis størrelse. Det anslås at en RF åbning skal have en sammenhængende størrelse på 30x60 cm.

Etablering af RF åbninger i nye bygninger er relativt enkelt, fx ved opførelse af byggeriet med bærende søjler og lette facader. Men indførelsen af RF-åbninger vil medføre langt større udfordringer i eksisterende bygninger. Der vil under alle omstændigheder være behov for en del forsknings- og udviklingsarbejde hvis RF-åbninger skal være en del af løsningen for sikring af indendørs mobildækning.

Indlejret teknologi i bygninger til forbedret teledækning

Der arbejdes internationalt på udvikling af belysningsarmaturer som kan overføre data fra og med 5G ved hjælp af LED teknologi (Haas et al., 2015). Ved hjælp af fluktuierende lys fra LED dioder er det muligt at udnytte belysningsarmaturer som LiFi (light-fidelity) attoceller (små femtoceller). Frekvensbåndet i lys er mange gange større end det frekvensbånd der kan benyttes til mobiltelefoni. Udnyttelsen af lys vil dermed give mulighed for at overføre signaler uden interferens med de eksisterende radiofrekvenser og samtidig mangedoble datatætheden sammenlignet med traditio-



nelle løsninger med små radioceller. Beregninger og forsøg har vist at kapaciteten af LiFi passer godt med den ydelse der forventes af det kommende 5G netværk.

Konklusion

Tunge byggematerialer som ofte benyttes i Danmark er stærkt medvirkende til reduktion af radiosignaler i bygningerne i forhold til udenfor. Tilsvarende medvirker introduktionen af nye lavenergivinduer eller vinduer med særligt solafskærmende effekt til en reduktion af radiosignalerne ud over hvad der er set tidligere for vinduer uden metal-coating. Tilsammen udgør disse materialer en skærm for indtrængen af radiobølger, særligt i større bygninger.

Konstruktionsmæssigt er det formodentligt muligt at mindske reduktionen af radiobølger ved at opbygge nye bygninger som bærende søjler med lette facader. Her skal det dog sikres at der ikke anvendes metalfolier som dampbremse i facaderne. Uagtet valget af konstruktioner i facaderne vil der altid være en dæmpning på grund af etagedæk i kernen af større bygninger.

I eksisterende bygninger, som er opført af tunge materialer og som har gennemgået en omfattende energirenovering, herunder med udskiftning af vinduer til lavenergivinduer, vil det sandsynligvis være vanskeligt, at opnå en tilstrækkelig indendørs mobildækning uden tekniske hjælpemidler.

Det tyder på at indførelsen af LED teknologi til indendørs belysning i fremtiden vil kunne åbne muligheder for også at udnytte teknologien til en forbedret indendørs mobildækning. Der er behov for yderligere forskning og udvikling på dette område, men det er klart et område der er værd at holde øje med.

Referencer

- Asp, A. Sydorov, Y. Valkama, M. og Niemelä, J. (2012). Radio Signal Propagation and Attenuation Measurements for Modern Residential Buildings. IEEE Globecom December 3-7, 2012, Anaheim, California, USA.
- Erhvervs- og Byggestyrelsen (2008). Bygningsreglementet 2008. Findes på www.bygningsreglementet.dk.
- Europaparlamentet (2010). Europa-Parlamentets og Rådets Direktiv 2010/31/EU om Bygningers energimæssige ydeevne.
- Haas H., Yin L., Wang Y., and Chen C. (2015). What is LiFi? Journal of Lightwave Technology. Digital Object Identifier 10.1109/JLT.2015.2510021.
- Skouby K.E., Tadayoni R og Koefoed N. (2014). Access to Mobile Communication in New Buildings. Center for Communication, Media and Information technologies (CMI) Aalborg University, Aalborg 2014.
- Trafik- og Byggestyrelsen (2015). Bygningsreglementet 2015. Findes på: www.bygningsreglementet.dk.