Ea Energianalyse

MINIVINDMØLLER I KØBENHAVN

Udarbejdet for Københavns Kommune

September 2009

INDHOLDSFORTEGNELSE

Indledning og konklusion **4**

1 Beskrivelse af udvalgte bynære møller **6**

2 Godkendelse og miljøpåvirkninger **10**

3 Mulige placeringer i København **13**

4 Muligheder for nettilslutning **22**

5 Minivindmøllernes effekt og produktion **25**

6 Projektøkonomi og rentabilitet **28**

Referencer **32**

INDLEDNING OG KONKLUSION

Københavns Kommune har bedt Ea Energianalyse udarbejde en rapport om forholdene for minivindmøller i København. Opgaven er et led i Københavns Kommunes klimaplan, som også omfatter muligheder for opførelse af større møller indenfor kommunegrænsen.

Nærværende rapport omfatter produktionsforhold, lovgivning og en afdækning af de væsentligste miljøpåvirkninger herved. Projektøkonomi og rentabilitet er vurderet ved forskellige mølletyper under inddragelse af muligheder for nettilslutning og vurdering af møllernes effekt og produktion. Hertil kommer beregninger af den mulige CO_2-reduktion ved forskellige mølletyper. Endvidere indeholder rapporten overvejelser omkring placeringsmuligheder i København.

Rapporten baserer sig på erfaringer med minivindmøller både i Danmark og i udlandet samt erfaringer med projekt- og samfundsøkonomi for vindmøller i almindelighed. Der er primært tale om et litteraturstudie suppleret med egne beregninger. Vi har indsamlet og bearbejdet relevant litteratur fra ind og udland samt kontaktet nøglepersoner med viden om emnet i Danmark. Da minivindmøller i bymiljøer er et relativt nyt fænomen, har mængden af tilgængelig litteratur og data været stærkt begrænset, hvilket analysen bærer præg af.

KONKLUSIONER

Erfaringer med minivindmøller fra Danmark, USA, England og andre steder viser, at den faktiske produktion ofte er betydeligt lavere end den forventede produktion. Det skyldes ofte, at forventningerne til middelvinden ikke har været realistisk. Udenlandske studier anbefaler, at bygninger med påmonterede vindmøller skal stå frit eller rage højt op over de omkringliggende bygninger, såfremt der skal ske en maksimal udnyttelse af vinden. Dette udgør en begrænsning i forhold til et meget stort potentiale i København.

Resultater af denne rapport viser desuden, at der effektivitetsmæssigt skal et meget stort antal minivindmøller til at opnå samme årlige produktion som blot en enkelt havvindmølle eller en større landvindmølle. Minivindmøller kan dog overvejes som et supplement til eksisterende planer om opførelse af større vindmøller, så længe man gør sig klart, at produktionspotentialet er beskedent.

De største udfordringer for minivindmøller er foruden økonomien æstetik, vibrationer, støj samt skyggevirkninger. Der stilles i lovgivningen ikke umiddelbart krav om en VVM-redegørelse forud for opførelsen af mikro- og minivindmøller, om end der skal foretages en screening af nødvendigheden herfor. Der er udenlandske erfaringer for, at minimøller er blevet stoppet på grund af støjgener for de berørte beboere i bygningerne. Vibrationer og skyggekast har desuden givet anledning til mange naboprotester i udlandet. Hensynstagen til det omkringliggende bymiljø, grundige visualiseringer og nøje valg af opstillingsmønstre og mølletyper bør derfor være et afgørende led i planlægningsprocessen.

Produktionsomkostningerne fra minivindmøller vurderes at være 3 – 5 kr. per kWh el. Dette er mere, end borgere og virksomheder i dag betaler for strømmen, og minivindmøller vil derfor sandsynligvis ikke få en større udbredelse uden særlige tilskudsordninger.

Set fra samfundets side er minivindmøller en meget dyr måde at øge andelen af vedvarende energi og reducere CO_2-emissioner på. Den høje produktionspris kan sammenlignes med omkostninger for landmøller og store havmøller på ca. 50 øre/kWh. Disse alternativer giver altså den samme CO_2 reduktion til omkostninger der er 6-10 gange lavere. Til gengæld kan der være andre gevinster forbundet med investering i minivindmøller som fx en grøn profilering af byen og en inddragelse af borgerne i bestræbelsen på at reducere byens CO_2 udslip.

Ea Energianalyse, september 2009

1 Beskrivelse af udvalgte bynære møller

Nærværende notat omhandler såkaldte mikro- og minivindmøller, som er små vindmølleanlæg, der kan opstilles i tilknytning til beboelse. De mindste vindmøller er så små, at de fx kan sidde på toppen af en stander til vejbelysning. Definitionen af mikro- og minivindmøller varierer fra studie til studie. I denne analyse har vi valgt at anvende følgende definitioner:

- Mikro-vindmøller er under 1 kW i nominel effekt.
- Mini-vindmøller er mellem 1 og 10 kW i nominel effekt.

Mikrovindmøller vil størrelsesmæssigt typisk være møller, der (fx af privatpersoner) monteres på mindre bygninger, enkelthusstande eller på master til vejbelysning.

Minivindmøller kan være relevante for montering på større bygninger og åbne arealer af en kommune eller fx en virksomhed.

Lovgivningsmæssigt falder både mikro- og minivindmøller i Danmark ind under begrebet *husstandsmøller*, som er defineret ved

- En maksimal højde på 25 meter fra fundament til øverste vingetip
- En rotordiameter på op til 13 meter, og
- En maksimal effekt på 25 kilowatt.

(Danmarks Vindmølleforening 2009a)

Ifølge Danmarks Vindmølleforening var der i 2009 i Danmark opstillet i alt 191 husstandsmøller med en samlet effekt på 2,7 MW. Det må formodes, at de fleste af disse er tilknyttet en fritliggende ejendom eller en landejendom, eftersom minivindmøller i byområder er et nyt fænomen i Danmark.

Vindmølleteknologier

Overordnet skelnes mellem to typer vindmølleteknologier, de horisontal-akslede og de vertikal-akslede vindmøller:

- HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine): Horisontalakslede vindmøller
- VAWT (Vertical Axis Wind Turbine): Vertikalakslede vindmølle

De hidtil mest kendte og udbredte vindmøller med typisk tre vinger på en horisontal aksel tilhører gruppen HAWT. Problemer, der ofte har været forbundet med bygningsmonterede mikro-/minivindmøller af typen HAWT har været en relativt stor afhængighed af ”kvalitetsvind”, dvs. vind uden for stor turbulens og variation. Møllen skal placeres i forhold til vindretningen. (Intelligent Energy Europe, 2007)

Møller af typen VAWT er typisk udviklet til at virke i byområder og producenterne hævder, at de er mindre sensitive overfor turbulent vind og skiftende vindretning. Møllen behøver ikke placeres i vindretningen. Visse typer af VAWT vindmøllerne er støjsvage på grund af en lavere rotorhastighed. Den lave rotorhastighed nedsætter ligeledes risikoen for løbskkørsel. (Intelligent Energy Europe, 2007)

Forskel i effektiviteten på de to typer af mølledesigns er et omdiskuteret emne, der ikke tages stilling til her.

Fordele og ulemper ved de to typer af mølledesigns antyder, at VAWT-møllerne umiddelbart vil være bedst egnede i forbindelse med husstande og bygningsmontering i beboelsesområder, mens HAWT-møllen måske egner sig bedst til fritliggende ejendomme. Det skal dog bemærkes, at VAWT-møllerne i sin moderne form er relativt nye på markedet og følgelig heller ikke nær så gennemprøvede som HAWT-møllerne, der har været på markedet i mange år. Det må desuden formodes, at der løbende sker en teknologisk forbedring af begge typer mølledesigns. Endelig skal det siges, at variationen indenfor begge hovedtyper af mølledesigns er stor, og ikke alle typer vindmøller indenfor den samme kategori vil nødvendigvis have samme karakteristika.

Vi har i dette arbejde udvalgt 5 forskellige mikro- og Minivindmøller, som vil være genstand for analysen. De fem varianter er valgt ud fra en variation i type og udseende. De udvalgte mølletyper skal ses som *eksempler* på vindmøller indenfor kategorierne mikro- og minivindmøller udvalgt blandt mange tilgængelige på markedet. Vi har valgt at vise to mikro-vindmøller – en traditionel HAWT og en nyere VAWT og tre mini-vindmøller (en HAWT og to VAWT).

Mikrovindmøller (0-1 kW)

Model:	Ampair 100
Producent:	Ampair Microwind
Type:	HAWT
Kapacitet:	0,1 kW
Karakteristika:	Ampair 100 er en af de mindste mikrovindmøller på markedet og kan monteres på bygninger, tag eller andre objekter, som fx en lygtepæl.
Information:	www.boost-energy.com/ampair

Model: UGE-300 2nd Generation
Type: VAWT
Producent: Urban Green Energy
Kapacitet: 0,3 kW
Karakteristika: UGE-300 mikrovindmøllen er særligt designet til montage på mindre installationer som lysmaster og lygtepæle men kan også monteres på bygninger, tagkonstruktioner mm.

Information: www.urbangreenenergy.com

Minivindmøller (1-10 kW)

Model: Venco Twister 1000 T
Type: VAWT
Producent: VENCO Power
Kapacitet: 1 kW
Karakteristika: Venco Twister er ifølge producenten er den støjsvag og robust i sin konstruktion. Møllen kan monteres på bygninger og tage. Den første byvindmølle i København havn, som er placeret på firmaet Logik´s bygningstag er en Venco Twister.
Information: www.vencopower.com

Model: Swift Rooftop Wind Energy System
Type: HAWT
Producent: Renewable Devices
Kapacitet: 1,5 kW
Karakteristika: Swift vindmøllen er kendetegnet ved sin karakteristiske ring rundt om rotorbladene, som skal minimere støjen fra møllen. Swift-vindmøllen er de signet til montage på tage.

Information: www.renewabledevices.com

Model:	Quiet Revolution Q5
Type:	VAWT
Producent:	Quietrevolution
Kapacitet:	4 kW
Karakteristika:	Quiet Revolution er designet til montering på store bygninger eller på jorden. Ifølge producenten er konstruktionen robust overfor turbulens og både vibrations- og støjsvag.
Information:	http://www.quietrevolution.co.uk

De fem vindmøller er ikke forhåndsgodkendt til brug i Danmark. På hjemmesiden for Godkendelsessekretariatet for vindmøller er der en liste over samtlige godkendte vindmøller i Danmark. Det fremgår, at der endnu ikke er mange minivindmøller, der er godkendt på forhånd, hvilket utvivlsomt hænger sammen med, at minivindmøller til bynære formål er et relativt nyt fænomen i Danmark. Ikke alle af de ovenfor viste møller kræver godkendelse – mere herom i kapitel 3.

Sammenligninger af de forskellige typer af vindmøller besværliggøres af producenternes uensartede oplysninger. Fx opgiver ikke alle producenter samme datakategorier og de opgivne kapaciteter er ofte angivet i forhold til forskellige målte vindhastigheder og derved ikke umiddelbart sammenlignelige. Det ville være fordelagtigt, at man i Danmark eller på europæisk plan vedtager en standardisering af oplysninger omkring data for vindmøller fra producenterne. På den måde vil det bliver lettere i forbindelse med konkret projektering at sammenligne de forskellige vindmølletyper.

Bygningsintegrerede vindmøller

Bygningsintegrerede vindmøller er en betegnelse for minivindmøller, der er integreret i selve bygningens konstruktion, typisk med formålet at levere elektricitet til den konkrete bygning. Denne løsning er kun aktuel at analysere i forbindelse med nybyggeri af større bygninger. Udenlandske erfaringer med bygningsintegrerede vindmøller kendes særligt fra mellemøsten (Bahrain og Dubai) men også fra London, og erfaringerne herfra viser at møllerne er i stand til at levere en meget beskeden andel af bygningernes samlede elforbrug, hvorfor sådanne løsninger mest bidrager til en arkitektonisk eller PR-mæssig gevinst.

2 GODKENDELSE OG MILJØPÅVIRKNINGER

Mikro- og minivindmøller hører miljøgodkendelsesmæssigt under betegnelsen Husstandsmøller, hvorfor der ikke umiddelbart stilles krav om en VVM-redegørelse forud for opførelsen. Imidlertid skal der for alle former for vindmøller foretages *en screening for nødvendigheden af* en VVM-redegørelse og efterfølgende udarbejdes kommuneplansretningslinjer for anlægget[1]. (BEK 1335)

Den 1. maj 2009 trådte der nye regler i kraft for godkendelse af husstandsmøller, som blev undtaget fra en række af de gældende krav til godkendelse af vindmøller generelt.

- Vindmøller med et rotorareal på under 1 m^2 og derunder (rotordiameter på max 1,13 m) er undtaget fra godkendelse.
- Vindmøller med et rotorareal på 1 – 5m^2 (rotordiameter på over 1,13 m til og med 2,52 m) kan nøjes med en forenklet godkendelse, som omfatter CE-mærkning og efterfølgende anmeldelse til Godkendelsessekretariatet for Vindmøller på Risø/DTU.
- Vindmøller med et rotorareal på 5 – 40 m^2 (rotordiameter over 2,52 m og op til 13 m) skal typegodkendes af en certificeret virksomhed ifølge godkendelsesordningen for vindmøller (BEK nr. 651 af 26/06/2008).

Det er producenten af vindmøllen, der er ansvarlig for at få den godkendt. Selve placeringen af vindmøllen hører under Planloven, hvilket betyder, at det er kommuneplanen og lokalplanen for det pågældende område, der er bestemmende for i hvilke områder, der kan opstilles vindmøller. Det er således kommunen der er godkendelsesmyndighed for selve opførelsen og anvendelsen af en minivindmølle. Der skal søges tilladelse om opførelse af en vindmølle hos teknisk forvaltning i den pågældende kommune. Kommunen er ansvarlig for at følge byggelovens bestemmelser i forhold til veje, naboskel mm, ligesom kommunen skal stille krav til overholdelse af støjgrænser.

STØJ

Støjbelastningen fra minivindmøller opført i "opholdsarealer i områder til støjfølsom arealanvendelse" må i det mest støjbelastede punkt ikke overstige følgende grænseværdier:

---

[1] Ved nyanlæg og ændringer af bestående anlæg opført på bilag 2 (vindmøller er opført under bilag 2i), skal kommunalbestyrelsen offentliggøre forslag til kommuneplanretningslinjer for anlægget, når anlægget på grund af dets art, dimensioner eller placering må antages at kunne få væsentlig indvirkning på miljøet. Ved vurdering heraf skal der tages hensyn til kriterierne i bilag 3. Forslaget skal ledsages af en redegørelse, der indeholder en vurdering af anlæggets virkning på miljøet. (BEK 1335)

- 39 dB ved en vindhastighed på 8 m/s
- 37 dB ved en vindhastighed på 6 m/s

Støjbelastningen måles ved møllen. (BEK 1518).

Støjfølsom arealanvendelse defineres i bekendtgørelsen som områder, der anvendes til eller i lokalplan eller byplansvedtægt er udlagt til bolig- institutions- sommerhus- eller kolonihaveformål eller som rekreative områder". Det vil altså sige, at vindmøller placeret på eller i nærheden af (indenfor en radius af 15 km) bygninger eller anvendt til beboelse, institutioner mv. hører under denne definition.

Decibel (dB)	Svarer til
0	Høretærskel for det menneskelige øre
20 dB	Stille soveværelse
20-30 dB	Stille dagligstue
60 dB	Tale i normalt leje
65 dB	Trafikstøj på en travl gade
85-90 dB	Lastbilers motorer
110 dB	Boremaskiner, brolæggerjomfruer mv.
120 dB	Fly på en landingsbane
130 dB	Smertegrænse for det menneskelige øre

FIGUR 1: DECIBEL SKALAEN MED ANGIVELSE AF, HVAD DE FORSKELLIGE STØJNIVEAUER SVARER TIL. WWW.HOERELSE.INFO

Som det fremgår af skalaen ligger støjgrænserne for vindmøllerne lige over trinnet "stille dagligstue", hvilket også kan betegnes som "sagte tale".

Det er kommunen, der er kontrolmyndighed hvad angår støj fra vindmøller.

Støjgener har været en af hovedbidragerne til klager og erstatningssager fra beboere i eller naboer til bygninger med minivindmøller. Der findes eksempler fra udenlandske studier, fx The Warwick Wind Trails (Encraft 2009) på at bygningsmonterede mini-vindmøller har måttet stoppe produktionen på grund af klager over støj fra beboerne i bygningen. Derfor bør mulige støjgener vurderes grundigt ved såvel valg af vindmølle-type som placeringsmulighed.

VIBRATIONER

Et andet velkendt problem omkring bygningsmonterede vindmøller er de vibrationer møllens rotation kan give i bygningen. Gengivelsen af vibrationer ned gennem byg-ningen afhænger ikke kun af mølletypen men også af bygningstype, tagkonstruktion og måden hvorpå møllen monteres.

Der er ikke faste regler omkring vibrationer fra vindmøller, eftersom dette problem i forbindelse med "almindelige" vindmøller er omgået ved afstandskrav til nærmeste beboelse. Ved projektering må man henholde sig til producenternes oplysninger om vibrationer fra den konkrete vindmølle. Producenter af vindmøller af VAWT-typen påstår, at disse grundet rotorens langsommere bevægelser giver mindre vibrationer.

SKYGGEKAST

Gener fra skyggekast og blink fra vindmøller har bl.a. været et omdiskuteret emne for store vindmøller på grund af talrige sager omkring naboklager. Skyggekast og blink afhænger af meteorologiske forhold, møllens placering i forhold til nabobebyggelse, topografiske forhold samt møllens rotordiameter. Der er ikke fastsat danske grænseværdier for gener fra skyggekast fra vindmøller. Det anbefales i vindmøllecirkulæret (CIRH1 9295), at generne ved skyggekast vurderes i forhold til både beboelse og udendørs opholdsarealer i tilknytning hertil men også i forhold til jernbaner og veje, så unødige risici undgås. Det anbefales yderligere, at planlægningen for vindmøller sikrer, at nabobeboelser ikke påføres skyggekast i mere end 10 timer årligt, beregnet som reel skyggetid efter et passende beregningsprogram.[2][Ref 07]

ÆSTETIK/VISUELLE PÅVIRKNINGER

Der findes ikke for minivindmøller konkrete retningslinjer for æstetik i forbindelse med den visuelle påvirkning. Møllestørrelse og design må vurderes i forhold til den konkrete placering og vil altid give anledning til diskussion. Nogle beboere vil finde vindmøllerne pæne og påskønne den miljømæssige symbolik de bibringer bybilledet, mens andre borgere vil finde dem forstyrrende eller skæmmende i bybilledet. Erfaringer med større vindmøller i det åbne landskab viser dog, at en vis hensynstagen til det omkringliggende landskab, grundige visualiseringer og nøje valg af opstillingsmønstre og mølledesign har en positiv effekt på naboernes skepsis. Københavns Kommune påbyder selv i sin Kommuneplan for 2009, at store vindmøller i de enkelte udpegede vindmølleområder skal være ens. Dette princip kan med fordel overføres til minivindmøller i byområdet.

FIGUR 2: EKSEMPEL PÅ VINDMØLLER AF TYPEN QUIET REVOLUTION MONTERET PÅ BYGNING I LONDON

På billedet ses et eksempel på otte Quiet revolution vindmøller monteret på taget af en bygning i London.

[2] Ved beregningen af *reel skyggetid* medtages sandsynligheden for skyggekast som følge af de meterologiske forhold. Det vil fx betyde at skyggekast forekommer oftere i sommermånederne end i vintermånederne. Beregninger af reel skyggetid kan foretages efter programmerne WindPRO, Shadow eller tilsvarende programmer.

3 Mulige placeringer i København

Udenlandske erfaringer med placering af vindmøller i byområder viser, at vindforholdene på de specifikke udvalgte sites er afgørende for vindmøllens effektivitet.

Principper for placering

Det engelske studie Wineur (Intelligent Energy Europe, 2007) anbefaler at en tagmonteret vindmølle, for at opnå den optimale effekt, skal placeres efter følgende retningslinjer:

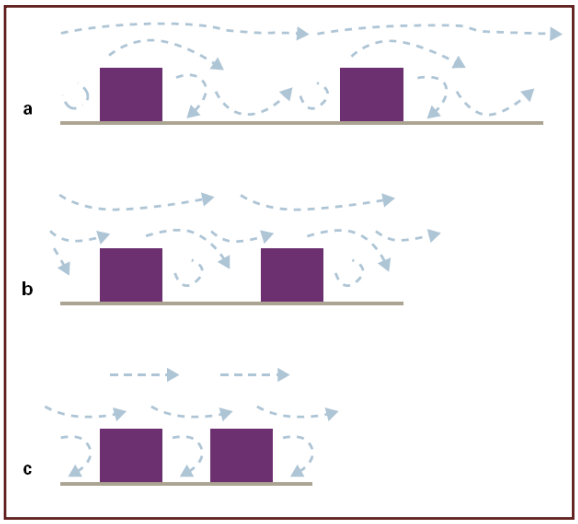
- Den gennemsnitlige vindhastighed bør på sitet ikke være under 5,5 m/s
- Bygningens tag, på hvilken møllen skal monteres, bør være ca. 50 % højere end de omkringliggende bygninger
- Møllen bør placeres i centrum af tagoverfladen og i forhold til den mest almindelige vindretning på sitet med den laveste del af rotoren hævet mindst 30 % af bygningshøjden over taget.

Flere studier anbefaler på linje med Wineur, at bygninger med påmonterede vindmøller skal stå frit eller rage højt op over de omkringliggende bygninger, såfremt der skal ske en maksimal udnyttelse af vinden (se kommende afsnit om vindforhold). Mange eksempler på eksisterende bygningsmøller omhandler bygninger af en højde, der ikke opføres i Danmark. Dette begrænser potentialet for opførelse af bygningsmonterede vindmøller i København.

Vindforhold

Minivindmøllernes produktionspotentiale afhænger af vindforholdene, og baseret på engelske målinger sammenholdt med danske vindforhold kan det ifølge Lawaetz (2009) forventes, at en minivindmølle opsat i tættere bebyggelse med en middelvindhastighed på 3-4 m/s vil have en årlig elproduktion på ca. 100-200 kWh pr. m^2 rotorareal. Dette naturligvis afhængigt af mølletypen og en række andre forhold. Sammenlignet vil samme mølle placeret i det åbne land med en middelvindhastighed på 6 m/s overslagsmæssigt have en årlig elproduktion på omkring 500 kWh pr. m^2 rotorareal.

Den eneste måde at finde vindpotentialet på, er ved at udføre en professionel vindmåling på stedet. Det skal hertil siges, at vindpotentialet i et tæt bebygget område er langt sværere at måle præcist i forhold til at måle vinden i det åbne land. Vinden danner i byer så at sige andre flows/mønstre, end det er tilfældet i det åbne land, og hver bygning kan have sine egne vindmønstre og samtidig være påvirket af nabobygningens vindmønstre. Figuren nedenfor viser, hvordan vinden blæser omkring bygninger afhængigt af hvor tæt de er placeret.



a) Bygningerne fungerer som isolerede objekter

b) Flowet omkring vindens nedstrømning af den ene bygning påvirkes af "kølvandet" fra opstrømningen af den anden bygning

c) Bygningerne ligger så tæt at flowet stryger hen over toppen af tagene. Vinden opfører sig som om bygningerne er blevet forhøjede

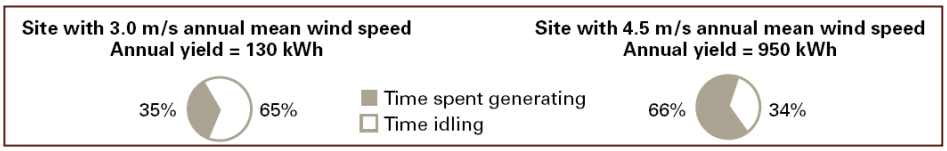
FIGUR 3: VINDENS FLOW OMKRING BYGNINGER. (CARBON TRUST 2008)

Vindhastigheden stiger proportionelt med afstanden til jorden. Bygninger fungerer som lægivere og bremser vindens hastighed. Vinden vil blæse over eller rundt om bygningen ofte med turbulent luft i kølvandet. Når bygningerne er placeret som isolerede objekter med en vis afstand (a), vil vinden hurtigt genetablere sin hastighed og jævne flow. Når bygningerne til gengæld er placeret tæt (b og c), kan vinden ikke reetablere sin hastighed og flowet kan blive meget komplekst i sit mønster. Påvirkningen fra omkringliggende bygninger afhænger naturligvis af afstanden til vindmøllepladsen og deres højde i forhold til vindmøllen. (Carbon Trust 2008)

En god placering af en vindmølle kan være på en meget høj bygning, som er placeret mellem lavere og tættere bebyggelse. Her er der en chance for at vindens flow vil ligne det, den ville have i et landområde. (Carbon trust 2008)

INDKOBLINGSPUNKT

Et andet forhold er vindmøllens indkoblingspunkt, altså ved hvilken vindhastighed møllen kobler sig ind og begynder at producere el. Store vindmøller i det åbne landskab er typisk placeret i en højde, hvor den gennemsnitlige vindhastighed overstiger deres indkoblingspunkt. Men fordi minivindmøller ofte er placeret i lavere højde eller i byområder, er deres indkoblingspunkt ofte lig den gennemsnitlige vindhastighed. Det kan medføre lange perioder, hvor vindmøllen står stille og altså ikke producerer strøm. Et studie gennemført af Carbon Trust (2008) eksemplificerer to identiske minivindmøller installeret på sites med forskellig gennemsnitlig vindhastighed således:



FIGUR 4: PRODUKTIONSTID FOR MINIVINDMØLLE OPSTILLET VED FORSKELLIGE VINDHASTIGHEDER (CARBON TRUST 2008)

Som det fremgår af figuren er vindmøllen på 4,5 m/s sitet oftere i produktion og genererer omkring syv gange mere energi end den mølle, der er placeret på 3 m/s sitet.

En nøjagtig måling af den gennemsnitlige vindhastighed er derfor af afgørende betydning for møllens produktion. Det anbefales, at der forud for placering af en vindmølle foretages nøjagtige vindmålinger på udvalgte sites i den ønskede højde over minimum et år (Lemming 2009).

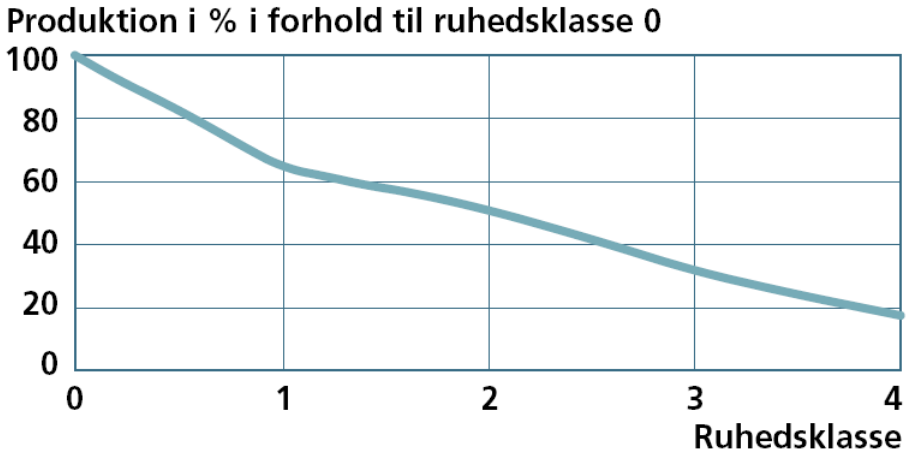
RUHEDSKLASSER

For at opnå maksimal effekt fra en given vindmølle, anbefales det at placere den i et landskab af lavest mulige ruhedsklasse. Nedenstående tabel illustrerer definitionen af ruhedsklasser.

Ruhedsklasse	Landskabstype
0	Vandoverflade
0,5	Helt åbent terræn med en glat overflade. F.eks. en beton-landingsbane eller nyslået græs.
1	Åbent landbrugsområde uden gærder og levende hegn og med spredt bebyggelse på let kuperede bakker.
1,5	Landbrugsområde med nogen bebyggelse og 8 meter høje levende hegn med en indbyrdes afstand på ca. 1250 m.
2	Landbrugsområde med nogen bebyggelse og 8 meter høje levende hegn med en indbyrdes afstand på ca. 500 m.
2,5	Landbrugsområde med mange huse, buske og planter, eller 8 meter høje levende hegn med indbyrdes afstande på ca. 250 m.
3	Landsbyer, mindre byer eller landbrugsområder med mange høje levende hegn, skov og et meget ru terræn.
3,5	Store byer med høje bygninger.
4	Meget store byer med høje bygninger og skyskrabere.

TABEL 1: DEFINITION AF RUHEDSKLASSER. KILDE: DET EUROPÆISKE VINDATLAS, WASP.

København må forventes at høre under ruhedsklasse 3,5 "store byer med høje bygninger", hvorfor det altså ikke umiddelbart er mest effektivt at opføre vindmøller inde i byen. Nedenstående tabel fra Vindmølleforeningen viser forskelle i vindmøllers energiproduktion i landskaber med forskellig ruhedsklasse.



FIGUR 5: VINDMØLLERS ENERGIPRODUKTION I LANDSKABER MED FORSKELLIG RUHEDSKLASSE. (DANMARKS VINDMØLLEFORENING 2009B).

Figuren skal tages med det forbehold, at produktionen fra den enkelte mølle også afhænger af en række andre forhold som mølletype, vindforhold mm. Det siger imidlertid noget om, at møllens forventede effekt på den givne placering med de givne vindforhold bør undersøges meget nøje for at opnå en tilnærmelsesvis sikkerhed for møllens output.

PLACERINGSMULIGHEDER I KØBENHAVN

Forud for en eventuel udvælgelse af placeringer til minivindmøller i København, bør kommunen foretage en grundig screening af mulige arealer under hensynstagen til lokalplaner, nabobebyggelse, arkitektur, kulturarv osv. Herefter er det af stor vigtighed at etablere master til detaljerede vindmålinger på de konkrete arealer, så man sikrer sig, at vindhastigheden er optimal, turbulensen minimal og at vindmøllen placeres i den rigtige højde og i den rette vinkel i forhold til vindretning. En sådan screening er ikke foretaget i nærværende notat, hvilket betyder, at de følgende overvejelser om placeringsmuligheder udelukkende kan betragtes som et ideoplæg til mulige sites, der kunne være genstand for en detaljeret undersøgelse.

HØJE BYGNINGER

Ved høje bygninger forstås i denne analyse bygninger med mere end 7 etager. Ifølge udenlandske erfaringer vil det være mest attraktivt at placere vindmøller på taget af bygninger, der rager op over den omkringliggende bebyggelse. Dette for at mindste den turbulens, der opstår i et tæt bebygget område, hvor vindforholdene påvirkes af omkringliggende bygninger. København er ikke præget af højhuse, men der findes et antal høje bygninger og der foreligger enkelte mulige bygningsplaner, som kunne være relevante til formålet. Minivindmøller i størrelsesordenen 5-10 kW kan være relevante i forbindelse med høje bygninger.

EKSISTERENDE HØJE BYGNINGER

Montering af minivindmøller på eksisterende høje bygninger som fx hotellerne SAS-Radisson, Hotel Royal og Hotel Sheraton, Ferrings højhus eller Rigshospitalet, der

rager væsentligt op over det omkringliggende byggeri vil være oplagte som genstand for nærmere undersøgelser af konkrete projekter.

CARLSBERGBYEN

En realisering af planen om opførelse af Højhuse i Carlsbergbyen kan også give anledning til overvejelser om placering af minivindmøller på taget af disse. Givet de rigtige vindforhold kan disse være med til at opfylde visionen om en bæredygtig bydel i den gamle Carlsberg by.

FIGUR 6: VISUALISERING AF PLANER FOR OMBYGNING AF CARLSBERGBYEN. WWW.VORESBY.COM

AMAGER STRANDPARK

Såfremt planer om opførelsen af nye høje bygninger til boliger langs Amager Strandpark bliver realiseret, vil der også her være mulighed for at montere minivindmøller på tagkonstruktionerne.

MARMORMOLEN

Bygningsintegrerede vindmøller, hvor møllen eller møllerne indgår i selve bygningens konstruktion, kan overvejes i forbindelse med bygning af nye, høje bygninger. I København kunne dette være relevant i forbindelse med den planlagte anlægning af FN-byen ved Marmormolen:

FIGUR 7: VISUALISERINGER AF PLANER FOR BEBYGGELSE PÅ MARMORMOLEN I KØBENHAVN. WWW.MARMORMOLEN.DK

Vindmøllerne skal designes nøjagtigt til de konkrete bygninger og kunne enten indgå i de to højhuses øverste konstruktion eller i broen, der forbinder dem. Kendte eksempler fra udlandet er fx Castle House i London og Bahrain World Trade Center:

FIGUR 8: BAHRAIN WORLD TRADE CENTER OG CASTLE HOUSE I LONDON.

Der skal imidlertid igen gøres opmærksom på, at erfaringer fra projekterne i London og Bahrain, viser, at vindmøllernes elproduktion bidrager til en meget lille del af bygningernes samlede elforbrug, og at motivet for gennemførelse af sådanne projekter måske snarere skal være et ønske om at profilere bygningen end at opnå en reel energigevinst.

I og med at de planlagte bygninger på Marmormolen kommer til at rage op over områdets øvrige bebyggelse, og at området i forvejen kan forventes at have forholdsvis gode vindhastigheder, kan det også overvejes at montere vindmøller på taget af bygningerne.

MELLEMHØJE BYGNINGER

Ved "mellemhøje bygninger" forstås bygninger på 4-7 etager – det være sig boliger, industri eller større kontorbygninger. København har mange bygninger af denne størrelse, men eftersom de ofte ligger tæt placeret skal man her være særlig opmærksom

på problemstillingen omkring vindmønstre og turbulens som omtalt i kapitel 2. Minivindmøller af størrelsen 1-2 kW kunne være relevante for mellemhøje bygninger.

FIGUR 9: EKSEMPEL PÅ MINIVINDMØLLER AF TYPEN AMPAIR 600 230 MONTERET PÅ EN MELLEMSTOR BYGNING I EN ENGELSK BY. (ENCRAFT, 2009)

MINDRE BYGNINGER

Ved mindre bygninger forstås huse i villa/parcelhus størrelse og andre bygninger med 1-3 etager. På denne type af bygninger vil det være mest relevant at montere mikrovindmøller under 1 kW. Her skal der igen tages højde for forholdsvis lave vindhastigheder samt atypiske vindmønstre og turbulens. På figur 10 ses Københavns foreløbigt første bymølle, sat op på taget af byggefirmaet Logik.dk's kontorbygning.

Vindmøllen er af typen Venco Twister 1000 T (1 kW), som er en VAWT-mølle. Stik imod enhver anbefaling om at placere minivindmøller på bygninger, der rager højere op end de omkringliggende bygninger, er møllen placeret på en mindre bygning som er klemt ind mellem mellemstore bygninger. Dette indikerer en vis sandsynlighed for, at møllen primært skal tjene et PR-formål for firmaet og ikke bidrage væsentligt til bygningens energiforbrug.

FIGUR 10: MINIVINDMØLLE PÅ TAGE AF LOGIK.DK'S BYGNING I KØBENHAVN. FOTO: JANOS HETHEY.

INDUSTRIOMRÅDER

Placering af vindmøller i områder der på forhånd er udpeget til industriområder kan mindske problemer med naboprotester og klager over støj og visuelle påvirkninger. Placering af minivindmøller i industriområder og/eller fx havneområder kunne både

omfatte montering af minivindmøller ovenpå eksisterende industrianlæg eller stående i nær tilknytning til samme.

Københavns Kommune har allerede udpeget to vindmølleområder i industriområder i forslaget til Kommuneplan 2009. Det største område ved renseanlægget Lynetten og et mindre område ved renseanlægget Damhusåen.

ÅBNE PLADSER

Åbne pladser er defineret som store åbne pladser uden væsentlige lægivere. Disse kan med forbehold antages at opnå højere vindhastigheder end andre steder i byen. København er ikke præget af mange åbne pladser, men mulige placeringer kunne være fritstående møller midt på åbne pladser eller monteret på bygninger i forbindelse med åbne pladser. Kreative ideer kunne være Rådhuspladsen eller søerne i København. Også havnefronterne rundt om i København byder på åbne områder. På nedenstående billede ses en midlertidigt opført en minivindmølle – et såkaldt "vindspir" på havnefronten ved Islands Brygge.

FIGUR 11: VINDSPIR OPFØRT MIDLERTIDIGT VED HAVNEFRONTEN PÅ ISLANDS BRYGGE. VINDSPIRET ER DEN HVIDE SØJLE I MIDSTEN AF BILLEDET FOTO: NINA HOLMBOE.

SØERNE

Søerne i København kan i denne sammenhæng betragtes som åbne pladser, hvor vindforholdene kan tænkes at være rimelige. En mulighed kan være at montere 3-4 vindmøller på midten af hver sø. Billedet nedenfor visualiserer 3 minivindmøller af mærket Quiet Revolution (4 kW) monteret i Sct. Jørgens Sø.

FIGUR 12: SCT. JØRGENS SØ I KØBENHAVN PÅMONTERET 3 MINIVINDMØLLER AF MÆRKET QUIET REVOLUTION. FOTOMANIPULATION: NINA HOLMBOE, EA ENERGIANALYSE.

Ved placering af 3 minivindmøller af 4 kW kunne der således installeres en kapacitet på 12 kW i hver sø, svarende til 60 kW for alle fem søer. Den foreslåede mølletype er valgt ud fra sin lette konstruktion og design, men større møller (5-8 kW) kunne også have sin gang på pladser af denne størrelse.

Det skal understreges for visualiseringerne fra både Rådhuspladsen og Sct. Jørgens Sø, at der er tale om simple fotomanipulationer, og at der i tilfælde af konkrete projektideer bør foretages en professionel visualisering af forskellige mølletyper og -størrelser ved forskellige synsvinkler.

4 Muligheder for nettilslutning

Der er to principielle muligheder for at tilslutte en husstandsmølle til strømforbrugerne, hvilket gennemgås kort i dette afsnit.

Nettilslutning

Det er muligt at tilslutte en husstandsmølle til det almindelige elnet, hvorved elproduktionen fødes ind på elnettet. Især de mindre husstandsmøller leverer jævnstrøm, og tilslutningen kræver derfor en inverter, der omformer strømmen til vekselstrøm ved elnettets frekvens. Vindmøllen kan tilsluttes til det almindelige elnet via den enkelte forbrugsinstallation, hvilket har indflydelse på afregningen, som forklares længere nede.

Uden nettilslutning

Hvis vindmøllen ikke skal tilsluttes elnettet, er det muligt at opbygge et isoleret "net", som ikke har tilslutning til elnettet. Da vindmøllens produktion ikke følger elforbruget, er det nødvendigt at installere et batteri, der fungerer som ellager. Elforbrugere kan da enten tilsluttes via jævnstrøm, eller som vekselstrømsforbruger, hvis der tilføjes en inverter. Det er ikke muligt at benytte enkelte husets "strømnet" som et isoleret net, der forsynes fra vindmøllen samtidigt med at det er tilkoblet det almindelige elnet.

Husstandsmøller uden nettilslutning vil typisk være relevante for isolerede steder, hvor der ikke er adgang til det store elnet. Hvor der er adgang til det almindelige elnet, som det er tilfældet i København, vil der være flere fordele ved en direkte nettilslutning. For det første kan omkostningerne til installation af et batterilager spares, samtidig med at energitabene forbundet med dette undgås. Derved kan den størst mulige elproduktion udnyttes, uanset det aktuelle lokale forbrug. Derudover kræver den direkte nettilslutning ingen opbyggelse af et separat net, der forsynes fra vindmøllen.

Afregning

Udformning af den fysiske nettilslutning, som er beskrevet foroven, kan have indflydelse på den privatøkonomiske værdi af elproduktionen fra vindmøllen.

Hvis der opbygges et separat elnet for husstandsmøllen, er det ikke nødvendigt at tage hensyn til afregning, da vindmøllen ikke er tilkoblet elnettet. Værdien af den producerede strøm kan dermed for forbrugeren sættes lig med prisen på den strøm forbrugeren ellers skulle have aftaget fra nettet.

Ved tilslutning til elnettet, er der flere hensyn at tage. Såfremt husstandsmøllen ejes af elforbrugeren og er tilkoblet elnettet via dennes forbrugsinstallation, kan man undgå at betale CO_2- og elafgifter for den andel af strømmen man selv forbruger, dvs. ejeren af en husstandsmølle kan modtage nettoafregning (Danmarks Vindmølleforening 2009) (BEK 1366). Ifølge en bekendtgørelse fra 2008 (Energistyrelsen 2008),

betales der derudover ikke PSO-afgift for den andel af strømmen man selv producerer.

Denne afregningsform betyder, at værdien af den andel af elproduktionen, som forbruges af forbrugeren selv er relativ højt, idet den er lig med forbrugerprisen på el, som i dag ligger på ca. 1,8 kr/kWh inkl. afgifter. Dette svarer til "afregningen" på den ikke nettilsluttede vindmølle.

Sammensætningen af forbrugerprisen er nærmere illustreret på nedenstående tabel. Det skal understreges, at de enkelte delelementer ikke er konstante afhængig af året og lokationen i Danmark. Distributionstariffen i Københavns Kommune ligger således på ca. 40 øre/kWh og PSO-tariffen, der går til betaling af tilskud til VE-produktion, er varierende afhængig af den konkrete produktion fra VE-anlæg pr. kvartal. Den individuelle forbrugers pris afhænger derudover af aftalen med elhandelsselskabet, hvilket har indflydelse på "spotpris"-andelen.

Øre/kWh	**Vest-Danmark**	**Øst-Danmark**
Spotpris	30,00	30,00
Nettarif + Systemtariff	6,80	8,40
Distribution (meget varierende 0-42)	40,00	40,00
PSO-tarif	12,50	10,40
El-afgift	59,60	59,60
CO_2-afgift	8,90	8,90
Moms	26,20	26,08
Total	184,00	183,38

TABEL 2: SAMMENSÆTNING AF FORBRUGERPRIS PÅ EL.

Nettoafregningen for mini-vindmøller gælder kun på timebasis, i modsætning til for eksempel solceller. Dette har to konsekvenser: For det første er det nødvendigt at installere en timeaflæst måler for både forbrug og produktion i forbrugerens elinstallationer, hvilket medfører yderligere udgifter til installationen af husstandsmøllen. For det andet betyder dette, at det ikke er muligt at modregne overproduktion fra vindmøllen i en time med forbrug i en anden time. I stedet kan overproduktion fra vindmøllen sælges til elnettet mod en fast afregningspris på 60 øre/kWh. For forbrugeren er værdien af overskudsproduktionen dermed væsentlig mindre end værdien af den elproduktion, som forbruges lokalt indenfor samme time.

SKATTEFORHOLD

Som udgangspunkt er indtægter fra den vindmølleproducerede el skattepligtige, og vindmølleejeren kan vælge imellem to beskatningsformer (CIRH1 9295):

- Skematisk regel
- Erhvervsmæssig opgørelse

Ved valg af den skematiske regel skal 60 % af den andel af indtægterne, der overstiger 3000 kr., medregnes til den skattepligtige indkomst. Alternativt kan vindmølleejeren vælge at blive beskattet efter den almindelige erhvervsmæssige opgørelse, hvor den fulde indkomst fra vindmøllens elproduktion er skattepligtig. Til gengæld kan udgifter til drift- og vedligeholdelse, samt afskrivninger trækkes fra i skat, hvilket ikke er muligt ved den skematiske regel.

Det er usandsynligt at indtægterne fra en minivindmølle vil overstige de 3000 kr. om året, selv hvis den samlede produktion sælges til nettet til en fast afregningspris. Derudover har det været drøftet i flere sammenhænge at hæve bundfradraget for indtægter fra vindmølleproduceret el fra 3000 kr. til 7000 kr[3]. Med mindre der er tale om større minivindmøller. Det har derudover været på tale at tillade nettoafregning for minivindmøller op til 6 kW, som gælder udover den enkelte time. Minivindmøllerne ville dermed stilles lige med små solcelleanlæg. Denne afregningsform omtales i daglig tale som at elmåleren "løber baglæns".

[3] Dette fremgår bl.a. af et notat fra Skatteministeriet fra september 2008: "Vedr. skatte- og afgiftsregler for vedvarende energi", J.nr. 2008-629-0004, 29. september 2008

5 MINIVINDMØLLERNES EFFEKT OG PRODUKTION

Baseret på erfaringer i andre lande viser der sig at være en meget bred vifte af produktionspotentialer. En generel erfaring er, at produktionen fra mikro- og minivindmøller har været langt lavere end forventet (30 – 70 % lavere) (Lawaetz 2009).

Dette skyldes dels, at møllerne reelt har haft lavere effektkurver end producenten har lovet, men den væsentligste årsag er, at vindressourcerne ofte viser sig at være meget lavere end forventet. Som et resultat heraf har undersøgelser vist gennemsnitlige kapacitetsfaktorer[4] fra 4 til 6,5 % (svarende til 350 – 570 fuldlasttimer) mens nogle vindmøller når op på 16,5 % (1445 fuldlasttimer) (Mithraratne 2009).

I en undersøgelse, hvor efterforskere har undersøgt den "faktiske kapacitetsfaktor" for møllerne i brug (inklusiv perioder, hvor møllerne blev slukket og importeret energi trækkes fra den samlede produktion), var den gennemsnitlige kapacitetsfaktor kun 0,85 % (75 fuldlasttimer) (Encraft 2009).

Som nævnt ovenfor, er præcise vindforhold meget afgørende for vurderingen af den potentielle elproduktion, og disse betingelser kan variere meget fra sted til sted. Med dette in mente gør Tabel 3 nedenfor et forsøg på at kvantificere, hvor mange minivindmøller der skal opføres for at opnå samme elproduktion og CO2-besparelser som en ny dansk havvindmølle.

I Tabel 3 er de forskellige placeringsmuligheder groft defineret som følger:

- Høje bygninger – Bygninger højere end 7 etager. Fuldlasttimer for disse lokaliteter er blevet vurderet i overensstemmelse med erfaringer fra Warick vindkraftstudiet i Storbritannien og målingerne fra et forsøg i Massachusetts. De mest vellykkede vindmøller på disse steder har fuldlasttimer i intervallet 700-1400 (Encraft 2009) (Massachusetts 2008). [5]

- Mellemhøje bygninger – Bygninger på 4 til 7 etager. Fuldlasttimer for sådanne steder er blevet vurderet i overensstemmelse med erfaringer inden for vindforsøg i Storbritannien og Massachusetts, hvor de mest vellykkede vindmøller havde omkring 400 fuldlasttimer (Encraft 2009) (Massachusetts 2008).

- Mindre bygninger – Bygninger på 1-3 etager. Fuldlasttimer for disse steder er blevet vurderet i overensstemmelse med erfaringer fra vindforsøg i Storbri-

---

[4] Kapacitetsfaktoren er et udtryk for den faktiske producerede mængde i forhold til den mængde, som ville have været produceret, hvis møllen producerede med 100 % kapacitet på alle tidspunkter. Sagt på en anden måde er det antallet af fuldlasttimer i et år divideret med mængden af timer i et år.

[5] I dette studie har vi antaget, at læring fra engelske erfaringer vil resultere i at der på sigt kan træffes mere succesfulde beslutninger i København og at der som sådan bliver draget bedre erfaringer her.

tannien, hvor de mest vellykkede vindmøller havde fuldlasttimer i intervallet 175 - 300 (Encraft 2009) (Massachusetts 2008).

- Høje lygtepæle – for pæle på 7 meter eller højere. Fuldlasttimer til høje gadelygter er baseret på vindforsøg i England og Massachusetts, hvor de mere vellykkede møller havde fuldlasttimer i intervallet 250-450 (Encraft 2009) (Massachusetts 2008).

- Mindre lygtepæle – For gadelygter placeret på pæle lavere end 7 meter. Fuldlasttimer baseret på forsøg i Storbritannien, hvor de mest vellykkede møller i denne højde gennemsnitligt havde fuldlasttimer på omkring 220 (Encraft 2009).

- Åbne pladser – Store åbne områder uden væsentlige lægivere. Fuldlasttimer på cirka 650 er groft baseret på vindforholdene på udvalgte områder i København sammenholdt med britiske forsøg (Encraft 2009).

Antal mikro- og minivindmøller svarende til en havvindmølle i København (løst anslået)							
Type sted	Turbine størrelse (kW)*	Fuld last timer pr turbine*	Kapacitets faktor (%)*	Forventede produktion pr turbine (MWh)*	Anslået antal turbiner pr sted*	Nødvendigt antal pladser	Antal turbiner svarende til en havvindmølle**
Høje bygninger	5-10	1.051	8 - 16	7,88	3-5	457	1.826
Mellem høje bygninger	1-2	438	2,5 - 7,5	0,66	5-10	2.922	21.918
Mindre bygninger	0,1 - 0,6	263	2 - 4	0,09	1	156.556	156.556
Høje lygtepæle	0,4	350	3 - 5	0,14	1	102.740	102.740
Mindre lygtepæle	0,2	219	1 - 50	0.04	1	328.767	328.767
Åbne pladser	5-10	657	5 - 10	4,93	3-5	731	2.922
Havvindmølle produktion: 14.400 MWh *For hver kategori blev brugt gennemsnitlig vindmøllestørrelse, gennemsnitlig kapacitetsfaktor og gennemsnitlig antal turbiner pr sted **Antallet af turbiner, der med de givne forudsætninger opnår den samme årlige elproduktion som en havvindmølle							

TABEL 3: ANSLÅET ANTAL MIKRO- OG MINIVINDMØLLER SVARENDE TIL EN NY HAVVINDMØLLE

Tabel 3 illustrerer, hvor mange af hver type mikro- og minivindmøller det ville være nødvendigt til at opføre for at opnå samme årlige produktion som en enkelt ny dansk havvindmølle. En havvindmølle af størrelsen 3,6 MW forventes at producere ca. 4.000 fuldlasttimer og have en årlig produktion på 14.400 MWh. En lignende sammenligning kan også gøres med en ny landbaseret vindmølle på 2,3 MW, fx i Nordhavn. I det tilfælde vil det årlige antal fuldlasttimer ligge på omkring 2.300 med en følgende årlig elproduktion på 5.290 MWh. Eksemplet gives ikke, fordi det er nødvendigt at træffe et valg mellem opførelse af havvindmøller, store landvindmøller eller minivindmøller. Eksemplet gives for at skabe et referencegrundlag og illustrere den relative elproduktion, der opnås med forskellige typer og størrelser af vindmøller givet forskellige vindforhold.

MARGINAL EL OG CO_2 BESPARELSER

Omfanget af de emissioner, der er forbundet med produktion og forbrug af elektricitet er meget afhængigt af hvilke kraftværker, der producerer elektriciteten. I denne rapport tages udgangspunkt i den såkaldte marginale energiproduktion. De marginale produktionsanlæg er netop de anlæg, der producerer mere elektricitet når efterspørgslen stiger, mens øvrige anlæg ikke berøres.

I det nordeuropæiske el-system, som Danmark er en integreret del af, er den marginale el-produktion som hovedregel baseret på kul, og i mindre grad på naturgas. CO_2-emissionen ved det marginale elforbrug på lavspændingsniveau i Danmark er ifølge Energistyrelsens forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet 859 g CO_2/kWh i 2009. Set som et gennemsnit over perioden 2009-2030 forventer Energistyrelsen, at den gennemsnitlige emission er 606 g CO_2 pr. kWh[6].

Med CO2-reduktioner på knap 606 g pr kWh, vil en ny havvindmølle eller det jf. tabellen antal tilsvarende minivindmøller med en produktion på 14.400 MWh bevirke 8.725 tons CO2-besparelser om året.

[6] Ea energianalyse har i andre projekter vurderet den marginale CO_2 emission højere end Energistyrelsens forudsætninger.

6 PROJEKTØKONOMI OG RENTABILITET

Installationsomkostningerne for en minivindmølle er afhængige af både vindmølletypen, størrelse og placering. Placeringen har her både indflydelse på omkostningen for det nødvendige fundament ved placering på pladser eller de nødvendige installationer af en mast m.m. ved placering på hustage, samt selve installationsarbejderne og eltilslutning.

Som beskrevet i afsnittene foroven er der i alt væsentlige usikkerheder forbundet med projektøkonomien for en minivindmølle mht. både investeringsomkostninger og den årlige elproduktion, hvilket tilsammen giver en stor usikkerhed på projektøkonomien. I det følgende illustreres betydningen af de forskellige parametre ud fra standardantagelser, men det understreges at forholdene vil variere meget afhængigt af det konkrete projekt.

I tabel 4 vises hovedforudsætningerne for beregningerne, hvor der er taget udgangspunkt i en minivindmølle med en maksimal kapacitet på 1 kW.

Antagelser, minivindmølle 1kW	
Investeringsomkostning[7]	50.000 kr.
D & V	250 kr./år
Fuldlasttimer	1.200 timer/år
Elpris	2 kr./kWh

TABEL 4: FORUDSÆTNINGER FOR ØKONOMISKE BEREGNINGER

Med de givne forudsætninger kan der opstilles et forsimplet regnskab for et enkelt år, som det er vist i tabel 5. Der er her gået ud fra en låneperiode på 20 år, hvilket giver den samlede annuitet, som inkluderer både renter og afdrag. Beregningerne viser den balancerede produktionspris under forudsætning af en nominel rente på hhv. 3,5 og 7 pct. I den viste tabel tages der ikke hensyn til indtægter, og det er derfor alene renten, der vil ændre sig afhængigt af om der tages udgangspunkt i et samfundsøkonomisk perspektiv eller et privatøkonomisk perspektiv. De privatøkonomiske forhold gennemgås længere nede. Energistyrelsens "Vejledning i samfundsøkonomiske analyser på energiområdet" anbefaler at der regnes med en realrente på 6 pct. svarende til en nominel rente omkring 8,5 pct. for samfundsøkonomiske beregninger. Det er sidenhen blevet påpeget at den anbefalede rente er højt sat, hvorfor der skal foretages følsomhedsanalyser. Beregningerne i dette notat er ikke en egentlig samfundsøkonomisk analyse, og de viste eksempler med en nominel rente på hhv. 7 og 3,5 pct. er valgt som illustrative eksempler.

[7] Baseret på en kort gennemgang af investeringsomkostninger for forskellige vindmølletyper er anslået et sandsynligt gennemsnitligt omkostningsniveau.

Det fremgår af beregningerne, at den balancerede produktionspris fra minivindmøllen ved en nominel udlånsrente på 7 pct. bliver ca. 3,43 kr/kWh hvilket er knapt det dobbelte af dagens forbrugerpris på el.

		Rente 7 %	**Rente 3,5 %**
Annuitet	kr./år	3.864	2.810
D&V	kr./år	250	250
Produktion	kWh	1200	1200
Balanceret produktionspris	kr./kWh	3,43	2,55

TABEL 5: FORSIMPLET PROJEKTØKONOMI FOR POT, 1 ÅR

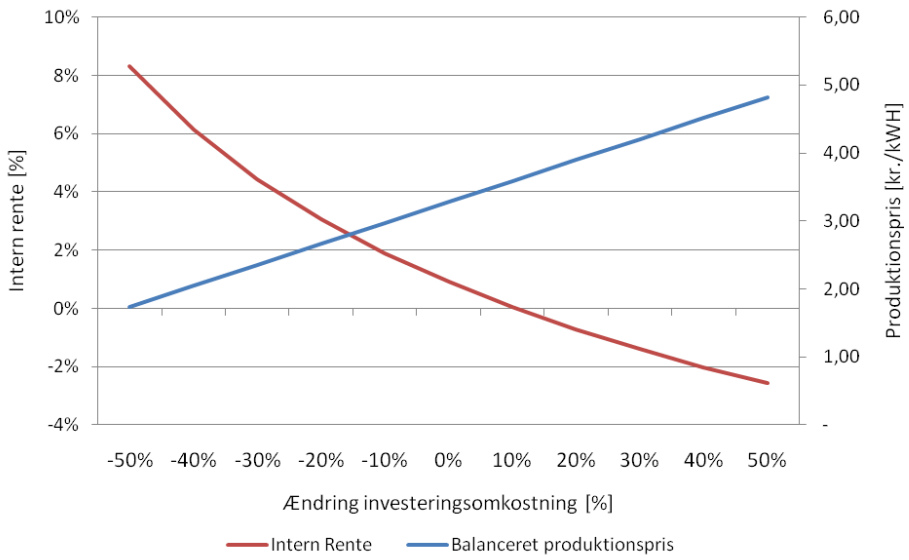
Projektøkonomien kan detaljeres ved at beregne pengestrømmene over hele projektlevetiden, som antages at være 20 år. Herved tages der hensyn til tilbagediskonteringen af fremtidige udgifter og indtægter, hvorved en mere præcis balanceret produktionspris og intern rente for projektet kan beregnes. Den interne rente er her et udtryk for det mulige afkast for en investor, og dermed privatøkonomien. Beregningen af privatøkonomien kræver en antagelse om indtægterne ved elsalg, og det er forsimplet antaget, at den samlede produktion fra vindmøllen forbruges i projektejerens installation, hvorved den effektive værdi af strømproduktion bliver 2 kr./kWh. Dette ligger lidt over den nutidige forbrugerpris, men til gengæld er der ikke antaget en prisudvikling over de 20 år. Antagelsen om egetforbruget af strømmen falder positivt ud for projektøkonomien, idet en evt. andel af elproduktionen, der skulle sælges til elnettet, kun ville få en afregning på 0,6 kr./kWh. Det understreges at der i de viste beregninger ikke er taget hensyn til skatteforhold, som kan have væsentlig indflydelse på den endelige privatøkonomi.

Resultaterne af denne beregning fremgår af tabellen forneden. Selv med den relativt høje "afregningspris" på 2 kr./kWh, viser det sig, at projektøkonomien er negativ med de valgte forudsætninger. Størrelsen på den balancerede produktionspris på over 3 kr./kWh viser derudover, at denne ikke er samfundsøkonomisk fordelagtig. Til sammenligning viser tidligere beregninger fra Ea Energianalyse at produktionsprisen fra større vindmøller i MW-klassen opstillet på Nordhavn ligger omkring 47 øre/kWh, og dermed væsentligt lavere (Ea Energianalyse 2009).

Intern rente (Nominel)	**0,90**	**%**
Balanceret produktionspris	3,28	kr./kWh
Balanceret produktionspris (2,3 MW-vindmøller på Nordhavn)	0,47	kr./kWh

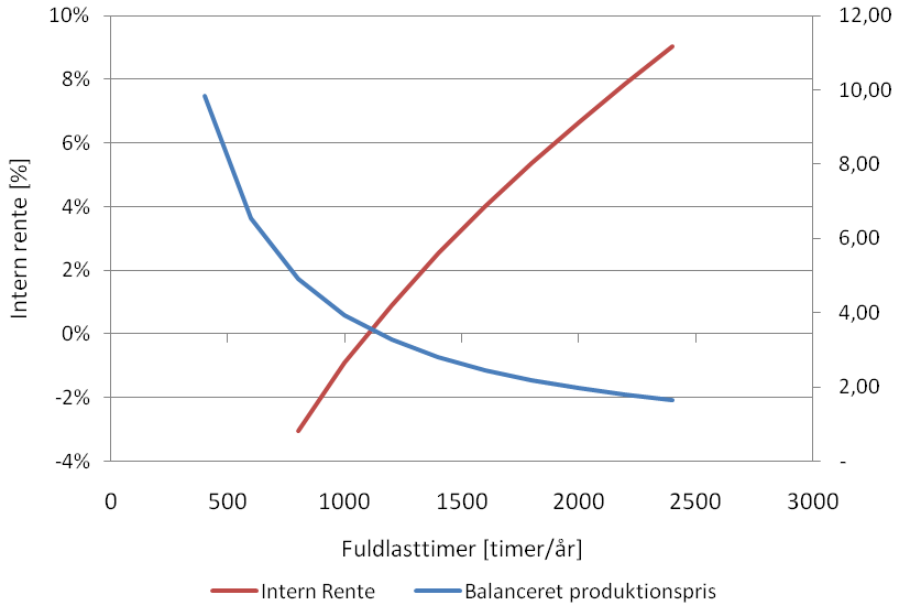
TABEL 6: PROJEKTØKONOMI, PRIVATØKONOMISK SYNSPUNKT, 20 ÅRS LEVETID

I nedenstående figur ses betydningen af investeringsomkostningen for den interne rente og den balancerede produktionspris. Først ved en reduktion af investeringsomkostningerne med 50 % opnås der en produktionspris, der ligger under forbrugerprisen på el omkring 2 kr./kWh, hvilket samtidig giver en intern nominel rente på over 8 %.



FIGUR 13: INVESTERINGSOMKOSTNINGENS BETYDNING FOR PROJEKTØKONOMIEN

På figuren forneden fremgår indflydelsen af antallet af fuldlasttimer på den interne rente og den balancerede produktionspris. Med den valgte vindmøllestørrelse og investeringsomkostning opnås der en balanceret produktionspris på under 2 kr./kWh, såfremt antallet af fuldlasttimer overstiger 2.000 timer/år. Til sammenligning svarer dette ca. til antallet af fuldlasttimer af en almindelig landvindmølle i Danmark, og for vindmøllerne på Nordhavn er der for eksempel regnet med ca. 2.300 fuldlasttimer (Ea Energianalyse 2009). Det bemærkes, at der er regnet med en konstant udgift til drifts- og vedligeholdelse, uanset antallet af fuldlasttimer, hvilket er grunden til at forholdet mellem den balancerede produktionspris og antallet af fuldlasttimer ikke er lineært.



FIGUR 14: FULDLASTTIMERNES BETYDNING FOR PROJEKTØKONOMIEN

Beregningerne af projektøkonomien viser, at privatøkonomiske fordele ved installation af minivindmøller er yderst tvivlsomme. Det skal dog bemærkes, at der i beregningerne er set bort fra skattetekniske forhold, hvilket kunne have en positiv indflydelse på projektøkonomien.

Fra et samfundsøkonomisk synspunkt må det konkluderes, at der findes billigere alternativer til miljøvenlig elproduktion, idet den balancerede produktionspris fra minivindmøller er langt højere end alternativer, som fx større landvindmøller eller havvindmøller. Der kan dog være tale om andre fordele ved installation af minivindmøller, fx hvis privatpersoner eller foreninger kan motiveres til at yde et bidrag til miljøvenlig elproduktion ved installation af minivindmøller. Derudover kan det have en positiv og opdragende effekt, hvis vindmøller rykker tættere på borgerne. Installationen af minivindmøller i byer kunne således bidrage til den almene opmærksomhed på miljøvenlig elproduktion, samt skabe en ejerfornemmelse overfor vindmøller i befolkningen. En nærmere analyse af disse forhold ligger dog udenfor notatets rammer.

REFERENCER

(BEK 651) Godkendelse af vindmøller med et rotorareal på 40 m2 og derunder og med en eleffekt på maksimalt 25 kW (Husstandsmøller), Undtagelse BEK nr. 651 af 26/06/2008

(BEK 1335) Bekendtgørelse om vurdering af visse offentlige og private anlægs virkning på miljøet (VVM) i medfør af lov om planlægning. BEK nr. 1335 af 06/12/2006

(BEK 1365) Bekendtgørelse om nettilslutning af vindmøller og pristillæg for vindmøl-leproduceret elektricitet m.m. (Vindmøllebekendtgørelsen), BEK nr. 1365 af 15/12/2004

(BEK 1366) Bekendtgørelse om nettoafregning for egenproducenter af elektricitet, BEK nr. 1366 af 15/12/2004

(BEK 1518) Bekendtgørelse om støj fra vindmøller, BEK nr. 1518 af 14/12/2006

(CIR1H 9295) Cirkulære om planlægning for og landzonetilladelse til opstilling af vindmøller, CIR1H nr. 9295 af 22/05/2009

(LBK 1115) Bekendtgørelse af lov om elforsyning, LBK nr 1115 af 08/11/2006

Carbon Trust (2008) ”Small-scale wind energy, Policy insights and practical guidance”. Carbon Trust, August 2008.

Danmarks Vindmølleforening (2009a) ”Faktablad P10 – Husstandsmøller”, Danmarks Vindmølleforening, 2009

Danmarks Vindmølleforening (2009b) ”Faktablad P1 – Vindenergi i Danmark”, Danmarks Vindmølleforening, 2009

Ea Energianalyse (2009) ”Vindkraft i Klimaplanen”, Notat udarbejdet for Københavns Kommune, Ea Energianalyse Marts 2009

Encraft (2009) ”The Warwick Wind Trails”, Encraft 2009.

Energistyrelsen (2008) ”Bekendtgørelse om fritagelse for betaling til dækning af offentlige forpligtelser for egenproducenter af elektricitet fra små anlæg”, Energistyrelsen 2008

Energistyrelsen (2009): Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet, Energi Styrelsen, Maj, 2009.

Intelligent Energy Europe (2007) “Wineur – Wind Energy Integration in the Urban Environment: Urban wind Turbines, guidelines for small wind turbines in the built envirionment”, Intelligent Energy Europe, februar 2007.

Københavns Kommune (2009) ”Forslag - Den tænkende storby – Københavns Kommuneplan 2009. Hovedstruktur”. Københavns Kommune, Økonomiforvaltningen, Center for Byudvikling, 2009.

Lawaetz (2009) ”Minivindmøllers Elproduktion”, Henrik Lawaetz, Risø, februar 2009

Lemming (2009) Personlig samtale med Jørgen Lemming, Risø DTU, 31/8 2009.

Massachusetts (2008): Small Wind Progress Briefing Summary, Massachusetts Technology Collaborative, juni, 2008.

Mithraratne (2009): Roof-top wind turbines for microgeneration in urban houses in New Zealand, Nalanie Mithraratne, Landcare Reseach, New Zealand, Marts, 2009.