



EMD International A/S
www.emd.dk

Driftsomkostninger for ældre vindmøller

Status Februar 2019

1. MAJ 2019



Driftsomkostninger for ældre vindmøller

RECIPIENT

Energistyrelsen
Carsten Niebuhrs gade 43, 1577 København, Danmark
Attn. Iben Moll Rasmussen

DATE

01 maj 2019

PREPARED BY

EMD International A/S
Niels Jernes Vej 10
DK- 9220 Aalborg
T: + 45 96 35 44 44
E: emd@emd.dk

PRINCIPAL CONSULTANT

Per Nielsen
EMD-DK

APPROVED BY

Henrik S Pedersen
EMD-DK

DOCUMENT

190430_PN_Driftsomkostninger for ældre vindmøller i Danmark_V5.docx

CLASSIFICATION

Published



DOCUMENT REVISIONS

REVISION	DATE	REPORT NO.	CHAPTER	DESCRIPTION OF PURPOSE/CHANGES
04	30/04/19	190430_19056	All	Draft report
05	1/05/19	190430_19056	All	Final report, smaller corrections

KEY TO DOCUMENT CLASSIFICATION

Strictly Confidential:	Recipients only
Private and Confidential:	For disclosure to individuals directly concerned within the recipient's organisation.
Commercial in Confidence:	Not to be disclosed outside the recipient's organisation
Client's Discretion:	Distribution at the discretion of the client subject to contractual agreement.
Published:	Available to the general public.

LIABILITIES

EMD International A/S (EMD) does not warrant, guarantee or make any representations regarding the delivered consultancy material caused by errors or omissions in the delivered data. EMD cannot be held liable for erroneous results caused by inaccuracy, limitations or malfunctioning of models or software used.

For any claim whatsoever related to the subject matter of this consultancy job, the liability of EMD for actual damages, regardless of the form of action, shall be limited to the total amount paid to EMD for the services provided as part of this consultancy job.



Indhold

1	Opsummering/konklusion	4
2	Baggrund for analysen	6
3	Kørende vindmøller i Danmark på land Feb.19	8
4	Primære mølletypers karakteristika herunder energiproduktion og udviklingen heraf	9
5	Tidligere driftsomkostnings analyser	14
6	To forskellige driftskoncepter	15
7	Driftsomkostninger opdelt på komponenter/services	16
8	Driftsomkostninger opdelt på dominerende mølletyper	20
9	Forventninger til levetid	23
Appendix A.	Referencer.....	24



1 Opsummering/konklusion

Der er primært fokuseret på møllestørrelser fra 600-1499 kW i opgørelsen af forventede driftsomkostninger. Denne gruppe møller repræsenterer ca. 58% af de kørende møller > 25 kW på land i DK i dag målt i antal og ca. 40% målt i kW og er ca. 20 år gamle. Disse møller vurderes at kunne holdes kørende med sund økonomi mindst til de er 30-50 år gamle, måske længere. Selv de ældste og mindste som der er mange kørende af, Vestas 225 kW, med 167 kørende møller der i gns. er 25 år gamle synes der fortsat at være god forretning i at holde kørende.

Det afgørende for hvor længe møllerne holdes kørende er forskellen mellem indtjeningen og driftsomkostningen, hvor førstnævnte styres af produktion og elpris. Produktionen er for langt hovedparten af møllerne i størrelsesordenen hvad der svarer til en kapacitetsfaktor på 25%. 84% af den gruppe møller der er udvalgt som har mindst 75 stk. kørende ligger indenfor 25% +/- 10%. Det er ikke tegn på en forringelse af produktionen i tid ud over de udprægede indlandsmøller, der taber 3-5% pr. 10 år, formodentlig primært forøgelse i ruheden, som primært ses i Midtjylland. Dette vil dog næppe reducere levetiden, da selv en reduktion på 10% ikke gør det uattraktivt at fortsætte driften. Det der vil kunne reducere levetiden baseret på økonomi er lave elpriser. I 2015 med 15 øre/kWh i gns for vind el, var der iflg. Vestas en del mølleejere der overvejede at stoppe driften, men med 30 øre/kWh i gns. i 2018 er disse overvejelser ikke længere til stede.

Der er to driftskoncepter;

1. Møllejer hyrer eksterne servicefirmaer til at forestå driften.
2. Møllejer varetager selv driften.

Hvor nr. 2 vinder frem, fordi det kan gøres billigere, især når man ejer mange af de ældre møller og har opbygget stort reservedelslager baseret på opkøb af nedtagne møller til en meget lav pris – og man er selvforsikrende. Omkostninger baseret på de to koncepter er nedenfor sammenlignet for en typiske møllestørrelser i den lave ende af omkostningsskalaen, 600-750 kW.

Tabel 1 Driftsomkostninger i kr/kW for typiske ældre vindmøller i Danmark

kr/kW/år	Analyse 2009, år 5-12 gns	Ekstern 2019	Intern 2019	Ekstern/intern
Gear			25	
Mekanisk , øvrigt			20	
Vinger			5	
Tårn			0	
Fundament			0	
Delsum, reparation	51	75	50	1,50
Normal service	46	75	50	1,50
Forsikring	32	20	0	
Administration	25	15	5	3,00
Jordleje	14	5	5	1,00
Andet (fx elkøb)	2	2	2	1,00
TOTAL	171	192,0	112,0	1,71

Omregnes til øre/kWh for forskellige kapacitets faktorer, hhv. 25% som er gns. for de fleste, og 20% samt 30% som er gennemsnit for ekstremerne, fås:

Tabel 2 Driftsomkostninger i øre/kWh

Cap.f	Samtlige omkostninger	Analyse 2009, år 5-12 gns	Ekstern 2019	Intern 2019	kWh/kW
25%	Øre/kWh	7,8	8,8	5,1	2.190
20%	Øre/kWh	9,7	11,0	6,4	1.752
30%	Øre/kWh	6,5	7,3	4,3	2.628
	Kun service/reparation				
25%	Øre/kWh	4,4	6,8	4,6	2.190
20%	Øre/kWh	5,6	8,6	5,7	1.752
30%	Øre/kWh	3,7	5,7	3,8	2.628

Det er omkostninger set over en årrække. Det mest interessante er at det ved "intern drift" ikke vurderes at koste mere des ældre møller bliver, tværtimod, fordi man gradvis bliver dygtigere til at optimere vedligeholdelsen og der er adgang til store mængder billige reservedele fra nedtagne møller, der har stået i vejen for nye projekter. Ved "ekstern drift" vurderes derimod en stigning på 1-1.5 øre/kWh pr. 5 år.

En privat møllelejer der hyrer ekstern service, må forvente at have omkostninger der er omkring 70% højere. Dels skal service firma tjene på ydelsen, hvilket vurderes at øge prisen på denne del med ca. 50%, dels vil man have højere omkostninger til fx forsikring og administration. Men selv med disse meromkostninger, vil alle de dominerende mølletyper med en elpris på 20-30 øre/kWh være attraktive at drifte videre.

Sammenfattende konkluderes at der vil komme meget få af de ældre møller fra 600 kW og op ned de næste årtier, med mindre der indtræffer hændelser som ikke kan forudses pt. De privatejede møller der eventuelt ikke vurderes lønsomme at drifte fortsat, vil formodentlig opkøbes af de firmaer der selv driver møllerne.

For møller under 600 kW vil man nok se at en hel del nedtages de kommende år, dette er dog ikke vurderet nærmere i denne analyse. Endelig vil møller der står i vejen for nye projekter blive nedtaget, men med den nuværende tendens til færre større nye projekter, vil dette forventes at være et fåtal.

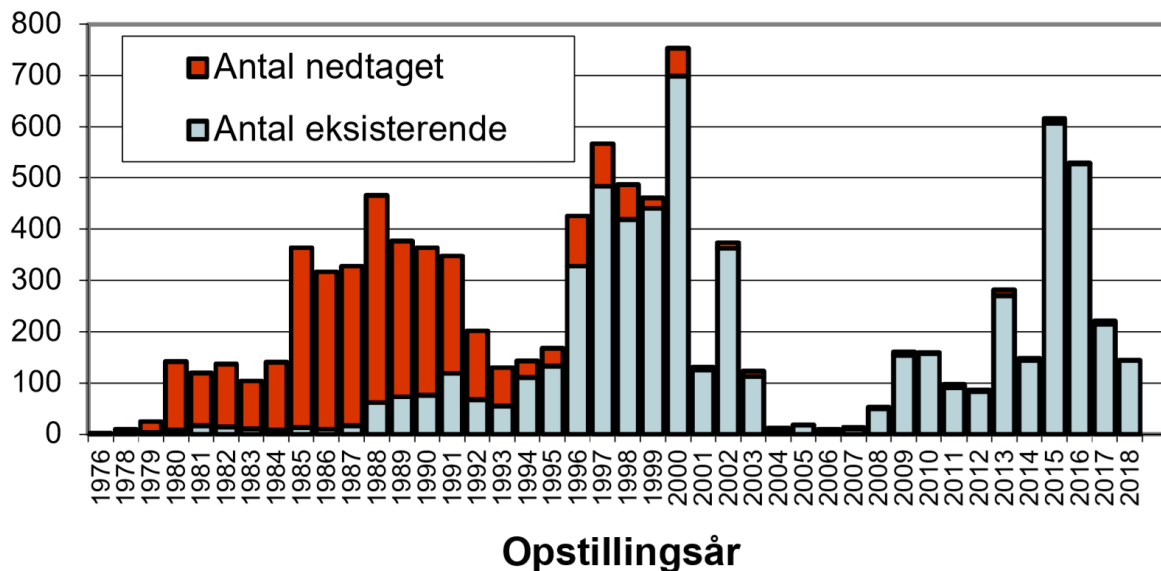


Reservedelslageret er godt fyldt op baseret på mange nedtagne møller 2008-18 i forbindelse med opførelse af nye projekter. Her ses blot et udsnit af det udendørs lager ved en af de større aktører.

2 Baggrund for analysen

Der blev opstillet mange vindmøller i Danmark slut 90'erne start 0'erne.

Antal fordelt på opstillingsår



Figur 1 Antal opstillede vindmøller i Danmark efter opstillings år [1] samt EMD's register over ældre møller

En stor del af disse er fortsat kørende. Men hvor længe? Det er der primært følgende faktorer der afgør:

- Elafregningsprisen minus driftsomkostningerne
- Markante udmattelser der ikke kan repareres
- Nye projekter kan etableres hvor de nuværende står
- Indgreb der kan "tvinge" møller ned, enten med pisk eller gulerod.

Energistyrelsen har ønsket at få kortlagt de forventede driftsomkostninger for især den store gruppe af vindmøller der er omkring 20 år gamle.

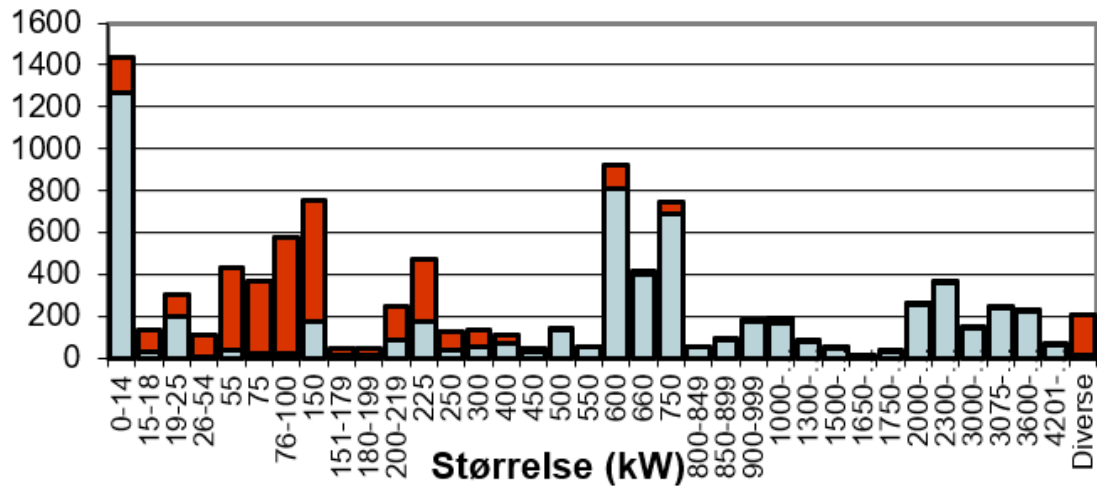
Hertil er EMD International valgt som konsulent.

De primære kilder til at afdække driftsomkostningerne er interviews hvor følgende er primære kilder:

- Aktører, der ejer og driver mange ældre møller "internt", primært de ca. 20 år gamle møller.
- Vestas, der servicerer en del af de ældre møller for private ejere.
- Service firmaer, der servicerer mange ældre møller for private ejere.



Antal fordelt på møllestørrelser



Figur 2 Antal opstillede møller i Danmark efter effekt

Her ses hvor mange af hver størrelse der er opstillet og hvor mange af disse der er nedtaget (rød søjle). Langt de fleste fra 500 kW og op kører fortsat. Offshore møller er inkl. i denne grafik.



3 Kørende vindmøller i Danmark på land

Feb.19

Tabel 3 Antal og effektfordeling > 25 kW

	Str.	Gns (kW)	Effekt	Antal	Gns. (år)	Alder	MW	% antal	% MW
<599 kW	medium		274	918	26,1		251	21,8%	5,7%
<1500 kW	large		735	2458	19,7		1807	58,4%	41,0%
>= 1500 kW	x-large		2820	833	6,8		2349	19,8%	53,3%
	Grand Total		1047	4209	18,5		4407	100,0%	100,0%

Der er 4209 landmøller over 25 kW med tilsammen 4.407 MW kørende pr. februar 19 [Stamdata registrer]. Desuden er registeret 1493 <= 25 kW, hvor der iflg. Peggy Friis, godkendelsessekretariatet [4] er opstillet 2200. Hertil kommer 558 Hav møller med ca. 3.000 MW kapacitet. Gruppen "large" fra 600-1499 kW er hovedfokus i driftsomkostningsanalysen. Denne gruppe repræsenterer ca. 58% af landmøllerne målt i antal og er ca. 20 år gamle i gennemsnit.



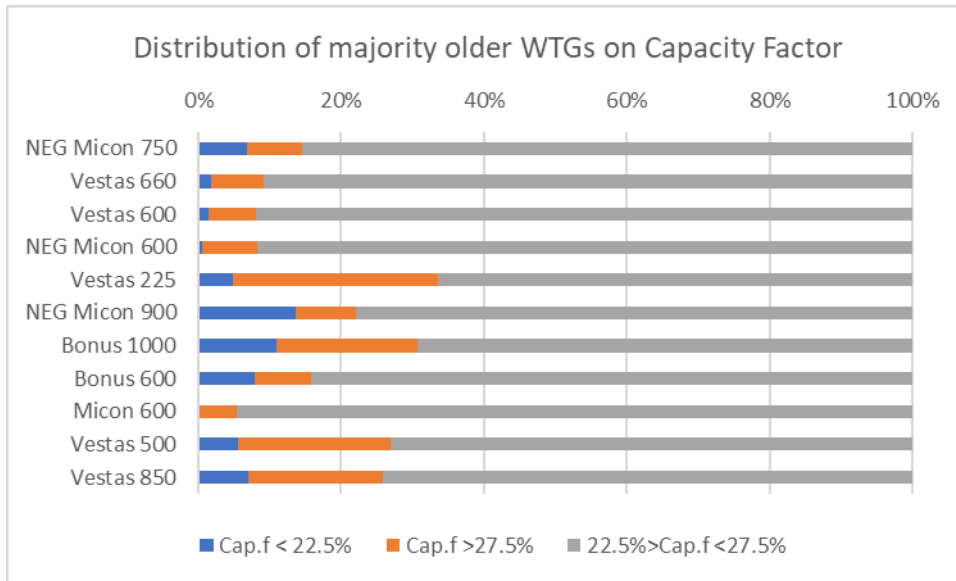
4 Primære mølletypers karakteristika herunder energiproduktion og udviklingen heraf

De væsentligste mølletyper er fundet ved at medtage dem (beskrevet ved oprindeligt fabrikat og effekt) der er flere end 75 kørende af jf. Stamdataregister feb.19 [1]. Det giver følgende:

Tabel 4 Dominerende ældre mølletyper i drift i Danmark

Mølletype	Antal	MW	Gns. alder	Min alder	Max alder	Cap.f.	FLH	Cap.f < 22.5%	Cap.f >27.5%	22.5%>Cap.f <27.5%
NEG Micon 750	623	467	19,5	15,2	24,3	22%	1917	42	49	532
Vestas 660	391	258	19,2	16,2	22,3	22%	1971	7	29	354
Vestas 600	271	163	21,6	17,8	23,8	24%	2061	4	18	249
NEG Micon 600	170	102	21,6	18,5	23,5	24%	2073	1	13	155
Vestas 225	167	38	24,8	14,6	29,3	25%	2225	8	47	109
NEG Micon 900	154	139	17,3	15,2	20,0	21%	1848	21	13	120
Bonus 1000	137	137	19,0	16,2	21,3	23%	1982	15	27	95
Bonus 600	126	76	21,1	17,2	23,3	22%	1911	10	10	106
Micon 600	94	56	22,7	20,9	24,4	24%	2132	0	5	89
Vestas 500	90	45	23,5	19,2	26,1	23%	2034	5	19	65
Vestas 850	85	72	15,2	3,0	18,8	24%	2065	6	16	63
ALL	2308	1.552	20,5	3,0	29,3	23,1%	2020	119	246	1937
								5%	11%	84%

Der er klart flest NEG-Micon 750 kW møller med 623 stk. der er fra 15-24 år gamle. I tabellen er vist "Capacity Factor", som er fuldlasttimer divideret med timer i året. Den er 23% i gns. for de fremherskende mølletyper. Det er interessant at se hvor lille variation der er i kapacitets faktor. Yderste 3 kolonner til højre viser antal møller efter kapacitets faktor gruppe. 84% af møllerne indenfor de dominerende mølletyper ligger indenfor 25% +/- 2,5% point. Dvs. produktionen kun varierer indenfor +/- 10% for hovedparten af møllerne.

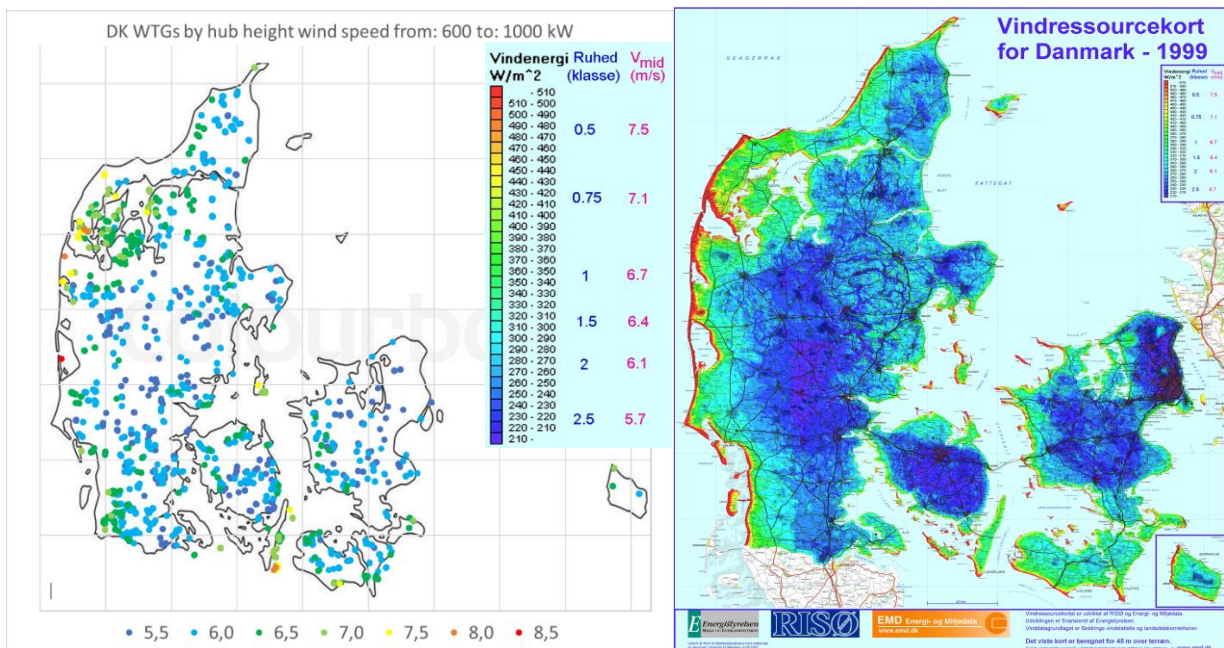


Figur 3 Dominerende mølletypers kapacitetsfaktor fordeling

Grafisk illustreret. Det er primært den mindste model, Vestas 225 kW, der har et væsentligt antal med høj kapacitetsfaktor. Det skyldes langt de fleste er placeret i Nordvestjylland.

Produktionen er beregnet på basis af stamdata registrets månedsdata fra 2003-18, hvor hver måned er vindenergi indeks korrigeret og måneder med mindre end 75% af forventet er filtreret. Det er således produktionen i et normalt vind år med normal drift.

For hver mølle er beregnet navhøjde vindhastighed ud fra produktion øget med 8% for at korrigere for tab, ved at etablere et anden ordens polynomie fra hver mølletypes effektkurve, der angiver sammenhæng fra FLH til middelvindhastighed. Nedenfor sammenlignet med DK vindressourcekort. [2]

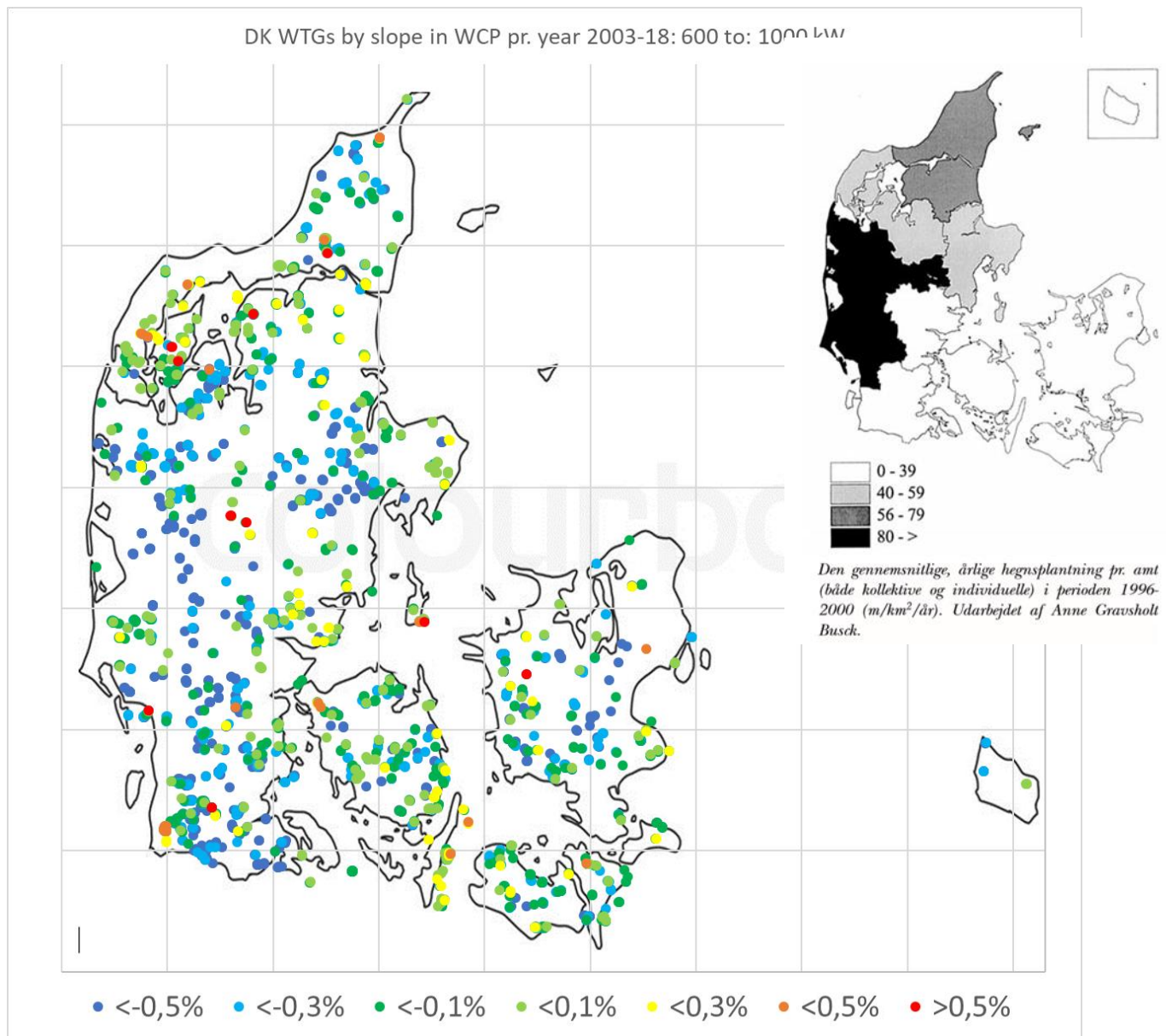


Figur 4 Vindhastigheder i navhøjde beregnet fra produktion sammenlignet til vindressourcekort, 45m over terræn.



Der er en meget fin overensstemmelse mellem møllernes navhøjde vindhastighed og ressourcekort i 45 m over terræn. Møller fra 600-1000 kW har i gns. 45 m navhøjde. Det kan bl.a. ses at møllerne på Midtfyn viser lidt højere vind end ressourcekortet. Det er et område vi tidligere har konstateret at ressourcekortet er lidt for konservativt, da der kun var få mindre møller at kalibrere ruhedsdata op mod da ressourcekortet blev udviklet, og ruheden blev derfor sat for højt. I det nordvestlige hjørne af Jylland (Thy) er der en tendens til lidt højere vind end ressourcekortet viser. Det kan nok tilskrives at landsdels korrektions kurver her ikke er sat højt nok i beregningsgrundlaget.

En væsentlig forudsætning for at de ældre møller fortsætter driften er at energiproduktionen fortsat nogenlunde holder nuværende niveau. EMD har tidligere set på "detrending", at møllerne taber produktion i tid. Det blev opgjort til ca. 4% reduktion pr 10 år, men meget vanskeligt at identificere præcist. Gennem analyserne i denne opgave kombineret med analyser af Høvsøre målinger, er vi kommet tættere på en forklaring, nemlig at det er en ruhedsforøgelse i tid der er primær årsag til at møllernes produktion falder i tid. For Høvsøre målinger kunne vi konstatere at vindhastigheden faldt ca. 2% pr 10 år i forhold til model data (som simulerer vind ud fra tryk, temperatur mv. men forudsætter konstant ruhed). Ved at opdele analysen i vest og øst sektor kunne ses at der intet fald var ved vestenvind, men ca. 4% pr 10 år ved østenvind. Det indikerer det er ruhedsændring der forårsager faldet, idet Høvsøre masten er tæt på kysten mod vest og derfor ikke oplever ruhed i denne retning. Men hvad betyder det for møllerne? Et fald på 4% pr. 10 år for indlands placeringer vil give et fald i størrelsesorden 6% i energiproduktion pr. 10 år for de relevante møllestørrelser. Dog forudsat ruhedsændring fortsætter.



Figur 5 Gennemsnitlig årlig ændring i produktionen for 600-1000 kW møller 2003-18

De mørkeblå viser møller der falder mere end 5% pr 10 år. Det er indlandsplaceringer, primært i Midtjylland, Sydjylland og på Sjælland. Ikke så markant på Fyn. Kystnære placeringer, fx Langeland, tenderer til at vise en vækst i produktionen over tid. Det skyldes at produktioner er vind indeks korrigeret, og dette indeks er baseret på gennemsnit at mange møllers produktion, derfor vil dem uden forøget ruhed performe bedre i tid relativt. Den indsatte figur viser der er en vis sammenhæng mellem de områder hvor produktionen falder mest og hvor der er plantet flest læhegn 1996-2000, som dog er i en tidsperiode der ligger før trendberegningen (2003-18), men det er i den tid hvor de gror op. [6]

Det stiller spørgsmålet: Hvad skal vind energi indekset vise? Ideelt set skal det kunne afsløre om en mølle i tid taber performance (der ikke er forårsaget af ændret vind), og omregne til langtidsforventet normalårsproduktion. Skal det kunne det, vil det kræve at man opdeler indeks i regioner med og uden ruhedsforøgelse, samt at man indregner forventet fremtidig ruhedsændring i fremtidige langtidsforventninger.

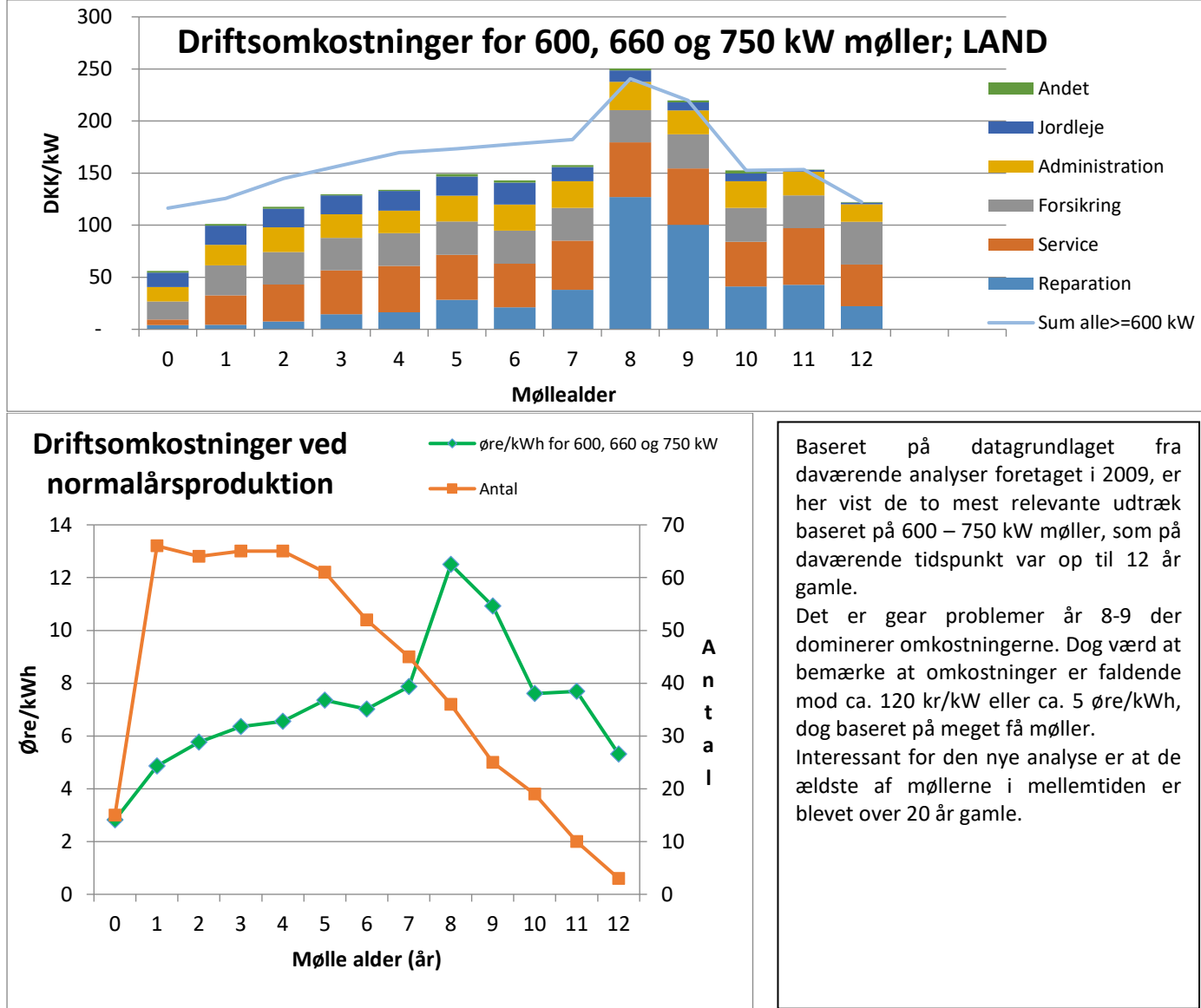


Konkluderende for denne undersøgelse er at man skal forvente en produktions reduktion for en vis andel af møllerne grundet øget ruhed i størrelsesordenen 5% pr 10 år, hvilket vil have betydning for hvor længe det kan betale sig fortsat at drive dem. Dog vil de overordnede udsving i vindenergien fra år til år være så store (+/- 15%), at der kan være en tendens til de mindre systematiske ændringer "drukner".

5 Tidligere driftsomkostnings analyser

EMD har tidligere medvirket i driftsomkostnings analyser, senest i EUDP støttet projekt: [3]

Herfra flg. væsentlige Figur:



Figur 6 Figur fra 2009 driftsomkostnings analyse



6 To forskellige driftskoncepter

Når man skal opgøre omkostningerne, er det meget væsentligt hvordan møllerne drives. Her er grundlæggende to koncepter:

1. Møllejer hyrer eksterne servicefirmaer til at forestå driften. (= ekstern)
2. Møllejer varetager selv driften. (= Intern)

Sidstnævnte kræver et vist volumen, ejer man en enkelt eller nogle få møller er det ikke realistisk. Der er flere aktører i Danmark der ejer og driver en hel del ældre vindmøller. De fremfører følgende grunde til at det kan gøres billigere end hvis man anvender et service firma:

- De har et meget stort reservedelslager fra opkøb af nedtagne møller der har "stået i vejen" for nye projekter. Disse har kunnet erhverves billigt, da markedet er præget af få aftagere.
- De kan ofte få lidt længere levetid ud af komponenterne, hvor service firmaer kan være tilbøjelige til at skifte "forebyggende" og derfor ofte ikke får de sidste års levetid med for alle komponenter.
- De er selvforsikrende hvilket giver mening med det store volumen og udgift til forsikrings selskab spares.
- Omkostninger til administration, fx revision er kun en brøkdel af hvad ejere af en enkelt eller få må betale pr mølle.
- Der er god adgang til uddannede service teknikere i dag, hvilket var en mangelvare for en del år siden.

Som nøgletal for de dominerende mølletyper ses omkostninger på ca. 115 kr/kW eller 5 øre/kWh ved "intern drift". Omkostninger har jævnt været faldende de senere år (fra ca. 7,5 øre/kWh i 2011), hvilket kan ses som en del af en læringsproces, hvor man gradvist optimerer driften. Der er således ingen indikationer på at det bliver dyrere i tid at holde de ældre møller kørende og det vurderes at fortsat drift til møllerne er 40-50 år ikke anses som problematisk. Det der kan blive et problem ad åre er at adgangen til billige reservedele vil forringes. I givet fald vil man da nok vælge at nedtage de ringest producerende og bruge disse til reservedele.



7 Driftsomkostninger opdelt på komponenter/services

Det er valgt at opdele driftsomkostninger som vist i tabel nedenfor. Her eksemplificeres med 600-750 kW møller. Tabellen nedenfor skal ses som et sammenfattende skøn, hvor såvel mindre møller under 600 kW samt til dels større møller over 750 kW nok vil være lidt dyrere, hvilket dog ikke vil gælde alle de større, fx 900 kW NEG-Micon vil ikke være dyrere mens fx 1000 kW Bonus anføres at være dyrere baseret på interviews.

Tabel 5 Driftsomkostninger i kr/kW for dominerende ældre mølletyper

kr/kW/år	Analyse 2009, år 5-12 gns	Ekstern 2019	Intern 2019	Ekstern/intern
Gear			25	
Mekanisk , øvrigt			20	
Vinger			5	
Tårn			0	
Fundament			0	
Delsum, reparation	51	75	50	1,50
Normal service	46	75	50	1,50
Forsikring	32	20	0	
Administration	25	15	5	3,00
Jordleje	14	5	5	1,00
Andet (fx elkøb)	2	2	2	1,00
TOTAL	171	192,0	112,0	1,71

Her søges omkostninger illustreret fordelt på komponenter/services.

Dels vises resultater fra driftsomkostningsanalysen 2009 (i løbende priser, dvs. inflationsreguleret til 2019 ville disse være ca 30% højere), dels hvad det forventes at koste hvis en mølle ejer med få møller benytter eksternt service firma, dels hvad det koster når et firma selv ejer og driver mange møller (intern).

Det ses at ekstern drift vurderes at koste ca. 70% mere end intern, hvor bl.a. forsikringsbesparelsen er markant ved intern drift.

Tabel 6 Skønnet fordeling af møller efter størrelse og intern/ekstern drift.

kW gruppe:	26 - 599	600 - 750	751 - 1499	1500 - 9999	SUM	Alle	"Large"
Intern drift	248	331	44	144	767	19%	15%
Ekstern drift	671	1568	509	548	3296	81%	85%
Total	919	1899	553	692	4063	100%	100%

Fordelingen pt. på intern/ekstern drift er skønnet ovenfor. 15% af møllerne i kategori "Large" fra 600-1499 kW har her intern drift. Skøn er baseret på en liste med ejernavn for hver enkelt mølle udarbejdet af Energistyrelsen ultimo juni 2017. De 10 der ejer flest møller er skønnet at have egen driftsorganisation, bortset fra dem med hvid baggrund i tabel nedenfor: (Oplyst af Peggy Friis, godkendelsessekretariatet, der henviser til liste over godkendte service firmaer: [5])



Tabel 7 De 10 største mølleejere målt i antal samt "privat"(der ikke dækker alle privat ejede)

Row Labels	<= 25 kW	26 - 599	600 - 750	751 - 1499	1500 - 9999	Grand Total
Privat	392	20	26	3		441
Wind Estate A/S		108	134	32	15	289
SE BLUE RENEWABLES DK P/S		105	66	3	36	210
Vattenfall A/S			62		84	146
GPP Vind K/S		20	43	13	9	85
SKOVGAARD INVEST ApS Jørgen Skovgaard		5	4		27	36
Dansk Vindenergi ApS		15	13	1	7	36
SA-Energi I/S		3	23	4		30
Energi Danmark Vind A/S					30	30
TB Vindenergi v/Torben Brandholm		14	14	1		29
VE 2010 ApS		3	19	3	2	27

Listen er ikke helt aktuel (juni-2017). Der er flest møller blot opført som "Privat", som alle må antages at have ekstern drift, men som ikke viser alle privatejede, idet en hel del er opført med ejer navn eller adresse. De 10 næste i listen vurderes at have intern drift, det er dog blot et skøn – og der er flere længere nede i listen vi ved har intern drift, men nok også enkelte i top-10 med ekstern drift. Især de større møller vil typisk have fabrikant service, også selv om de ejes af firma med egen driftsorganisation.

Tabel 8 Antal fordelt på hvor mange der ejes

antal pr ejer	Antal møller ejet
1	2545
2	576
3	219
4	144
5	85
6	72
7	28
8	48
9	45
10	60
>10	1639
>10- privat samt fradrag fra top-10 liste	1050

En anden opgørelse der viser at ud for 2545 af møllerne er én ejer anført. Det betyder ikke nødvendigvis at denne ejer ikke har andre, de kan være opført under andet navn, men det er meget sandsynligt at ejes fra 1-10 møller er



de højest sandsynligt ekstern driftede, hvilket giver et maks. på 1050 internt driftede. Hertil kommer dog dem der har skiftet ejer siden juni-17.

Efterfølgende gennemgås de enkelte komponenter ud fra interviews med aktører:

Gear - Et gear holder ca. 10-15 år. Det koster fra "eget reservedelslager" omkring 200.000 kr for et renoveret gear til 600-750 kW møller. Skal man erhverve det gennem et service firma må man påregne 300-400.000 kr (Vestas). Hvor man tidligere så behov for udskiftning af gear på en del danske 600-750 kW møller allerede efter 7-9 års drift, holder gear længere tid i dag, primært fordi de renoverede gear har kraftigere lejer og offline filter. Gearet slides mere jo større kapacitetsfaktor. Der er eksempler fra Egypten med kapacitetsfaktor 50% at gear allerede efter 5 år måtte skiftes på V47 møller. Omvendt nævner Vestas møller på Færøerne med samme kapacitetsfaktor som har kørt 15 år uden skift. Det kan være temperaturen er en vigtig faktor, men det handler også om filtrering af olien. Vigtigst er dog nok at underdimensionerede lejer på møller fra slut 90'erne kostede tidlige gearskift, et problem man har lært af og dermed imødegået, hvorfor gear holder længere i dag. Der vurderes ikke markant sammenhæng til kapacitetsfaktor men nogen vil der være. Det er dog mindre relevant for møller i Danmark, hvor variationen i kapacitetsfaktor generelt er meget lille.

Mekanisk, øvrigt – Her er en del komponenter der slides. Hovedlejer, generator lejer, krøjbremser, hydraulik for at nævne nogle. Det vurderes at disse komponenter i gennemsnit koster ca. det samme at holde kørende som gear på sigt.

Vinger – Det er beskedent hvad der er af omkostninger, og der er rigtig mange på reservedelslageret, et udtryk for at det er sjældent skift er nødvendigt. Der er nogle mølletyper, fx V47 der har vingerods problemer. Det kan typisk koste 350.000 for 3 vinger ved 15 år, det er dog langt fra alle der får denne omkostning, nok 5-10%. Men der er for disse en omkostning på 10.000 kr/år for skanning af vinger, hvis de er kategoriserede som kritiske ved første skanning. Mindre kritiske skal blot skannes hver 3. die år. AL vinger som sidder på nogle NEG Micon møller har en tendens til at krakelere, det kan koste 200.000 kr at reparere, men sjældent, der er relativt få med AL vinger. Andre holder nok 25 år. Der er mange brugte på lager der kun har kørt 15 år. Det koster ca. 35.000 kr for vingeskift i arbejdstid, kran mv. Renovering af ældre vinger koster ca. 10.000 kr. Der er for nogle vinger en indbygget wire til at trække luftbremsen ind, denne springer og skal skiftes med visse mellemrum. Alt i alt anses vinger ikke som en væsentlig omkostning i videre drift af ældre møller, det store reservedelslager er med til at holde omkostninger nede.

Tårn – Her vurderes praktisk taget ikke at være omkostninger. Der er set eksempler på bolte i flangesamlinger der er udmattet på meget gamle 200 kW møller. Men opmærksomhed herpå kan forhindre nævneværdige omkostninger. Generelt er tårne dimensioneret med høje sikkerhedsfaktorer, der gør de vurderes let at kunne holde 50 år. Der kan komme kosmetiske reparationer.

Fundament – dette kan være den kritiske komponent, der sætter en stopper for møllens drift. Det er indtil nu ingen reel erfaring for hvornår et fundament er udmattet eller forvitret og ikke kan holde længere, men 50 år nævnes som en mulig grænse. Dette vil dog som alle andre dele kunne renoveres/udskiftes – når problemer kommer, findes formodentlig løsninger. Men ingen indikationer af at der vil være omkostninger de første 50 år.

Normal service – Dækker over den gennemgang en mølle skal have typisk 2 gange årligt, hvor alle dele gennemgås og der skiftes fx bremsekloster, smøres mv. Det tager naturligvis tid og der er kørselsomkostninger. Men mange servicebesøg til de samme mølletyper gennem årene gør at denne del kan optimeres, man ved præcist hvad der er vigtigt og har de rette reservedele med, det gør at service omkostninger optimeres og prisen kan bringes ned. Vestas oplyser at prisen for normal service er fra 20-40.000 kr/år for 600-750 kW møller. Det giver et spænd på 27 – 67 kr/kW hvis man kombinerer mindste mølle med højest pris og største mølle med laveste pris, så det er vanskeligt at komme med et entydigt bud.

Forsikring – Bliver billigere med tiden, da man typisk vælger større selvrisiko, og erfaring fra mange driftsår gør at man ved ret præcist hvad der kan forventes af forsikringskader. Med intern drift og et stort antal møller fravælges helt at forsikre.

Administration – Hvis en mølle er ejet af et møllelaug vil der være ekstra omkostninger til bestyrelse, generalforsamling, fordeling af indtægter mv. Ejer en privat person en eller få møller, vil der være krav til regnskab/revision som bliver en væsentlig større omkostning pr. mølle end hvis der drives mange internt. Det vil også være omkostninger til at en lokal elinstallatør har driftsledelsen på møllen.



Jordleje – Forekommer relativt sjældent på de ældre møller, idet jorden typisk er købt (udmatrikuleret), eller man har betalt et engangsbeløb for fx 25 års leje. Der kan komme en forhandling hvis møllen står på lejet jord efter fx 25 år. Dette er en "ubekendt", hvor udlejer jo reelt kan forlange så meget at det er urealistisk fortsat at drive møllen.

Andet (fx elkøb) – Møllerne har et vist egetforbrug af strøm dog beskedent. Der kan være indgået særlige aftaler om donationer til fx lokale idrætsklubber eller lignende fra møllens driftsindtægt.

Tabel 9 Forventede driftsomkostninger i kr/år for 750 kW mølle samt i øre/kWh ved 25% Cap.f.

	Kr/år for 750 kW mølle		MWh/år: 1.643	Øre/kWh for 750 kW Cap.f 25%		
	Analyse 2009, år 5-12 gns	Ekstern 2019	Intern 2019	Analyse 2009, år 5-12 gns	Ekstern 2019	Intern 2019
Gear			18.750			1,1
Mekanisk, øvrigt			15.000			0,9
Vinger			3.750			0,2
Tårn			-			-
Fundament			-			-
Delsum, reparation	38.176	56.250	37.500	2,3	3,4	2,3
Normal service	34.804	56.250	37.500	2,1	3,4	2,3
Forsikring	23.893	15.000	-	1,5	0,9	-
Administration	18.755	11.250	3.750	1,1	0,7	0,2
Jordleje	10.837	3.750	3.750	0,7	0,2	0,2
Andet (fx elkøb)	1.489	1.500	1.500	0,1	0,1	0,1
TOTAL	127.955	144.000	84.000	7,8	8,8	5,1

Omregnede tal fra tabel først i afsnit til hhv. kr/mølle og øre/kWh som gennemsnit over en årrække efter ca. 20 driftsår. Bemærk, at dette er en mølletype med omkostninger i den lave ende, men dog den mølletype der er langt flest kørende af i Danmark.



8 Driftsomkostninger opdelt på dominerende mølletyper

Fra et service firma grupperes omkostninger til reparation/service i følgende:

Tabel 10 Vurderede omkostninger af service firma til reparation/service opdelt i stall/pitch regulering

Mølletype	øre/kWh
Stall regulerede	7
Pitch regulerede	9
Bonus 1 MW	11
Vestas V27 225 kW	13
Forventet stigning pr. 5 år:	1-1.5

Fordelingen af antal møller på Stall og Pitch er rimelig simpel når man taler møller < 1500 kW, idet kun Vestas møller er pitchregulerede som hovedregel. (I EMD's database er fabrikat baseret på "originalt fabrikat", således at fx Nordtank fortsat er Nordtank, hvor disse i Stamdata register ofte er opført som Vestas grundet Vestas overtagelse af dette og en del andre fabrikater). I tidligere liste ses hvor mange V27 og Bonus 1 MW der er kørende. Disse er medregnet i neden viste tabel.

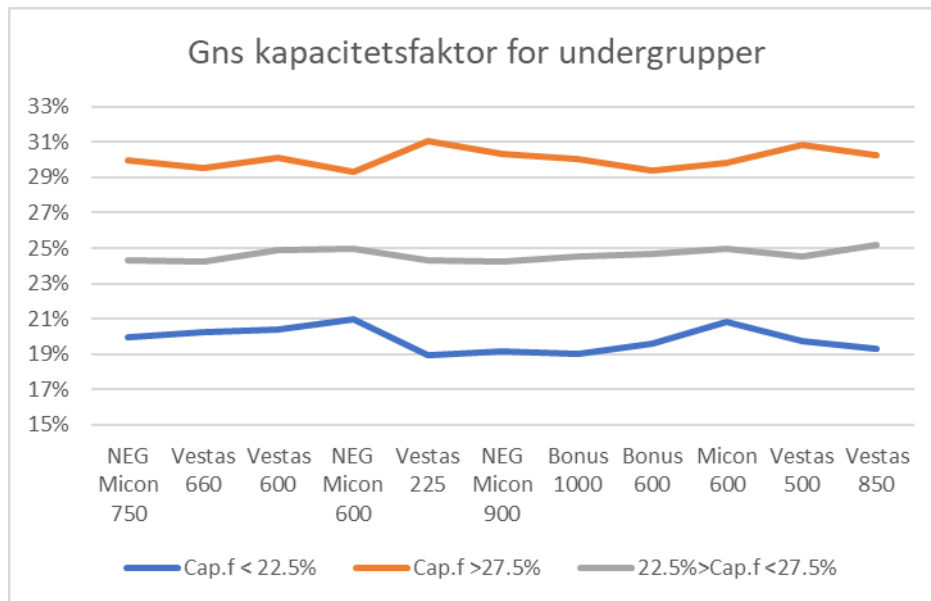
Tabel 11 Antal hhv. Pitch og Stall regulerede møller

	Vestas (Pitch)	Andre (Stall)
Medium	278	640
Large	753	1705

Der er i forudgående tabel anført forventninger til stigninger og en markant forskel for den "brede gruppe" af stall-regulerede møller som er de billigste mens andre typer ligger noget højere.

Aktører med "intern drift" vurderer at det at gengive mere præcise tal for enkelte mølletyper er at "gå for tæt på", derfor blot mere generelle kommentarer. Mindre møller (150-500 kW) er relativt dyrere end 600-750 kW pr kW og kWh at holde kørende. Og at fx 600 kW møller koster ca. det samme som 750 kW møller i absolutte tal. Og at fx Micon møller er billigere grundet den enklere opbygning end fx Vestas og Bonus møller.

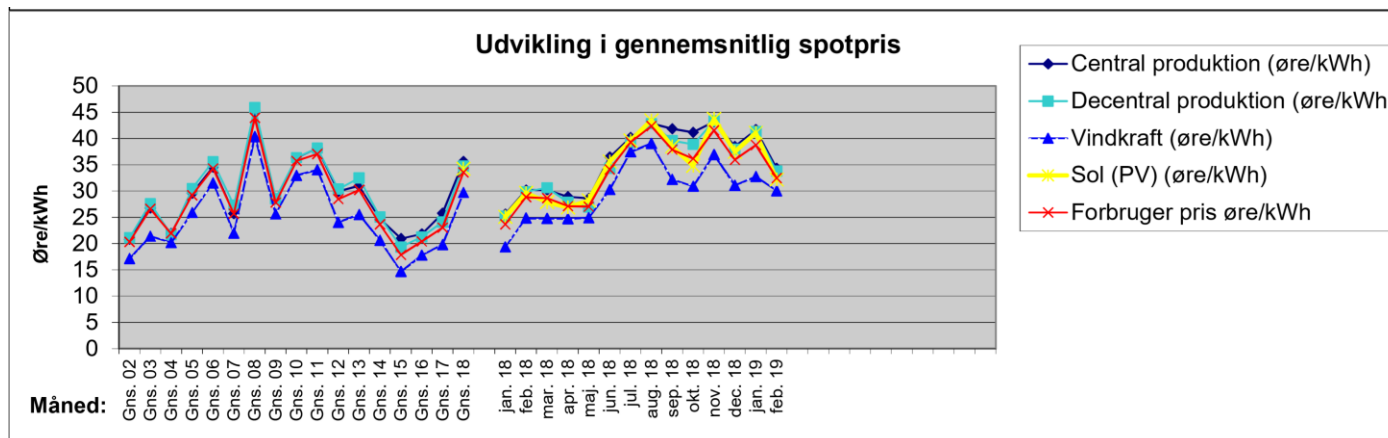
Det afgørende for hvor længe ældre møller holdes kørende er elpris og produktion. Efterfølgende ses på forskellige scenarier.



Figur 7 Gns. kapacitetsfaktor for lav/høj/medium grupperinger

Her er møllerne opdelt i gns produktion (kapacitetsfaktor) for hhv. dem mellem 22.5 og 27.5 kapacitetsfaktor (som jf. tidligere udgjorde 84% af alle dominerende mølletyper) og dem over og under. Det er ret entydigt at det giver mening at opdele i 3 kapacitets faktorer: 20%, 25% og 30%, hvor langt hovedparten (84%) som nævnt vil være at finde i midtergruppen.

Elprisen opdeles ligeledes i 3 mulige scenarier, baseret på de seneste års erfaringstal.



Figur 8 Udvikling i elpris efter produktions anlæg (vægtet spotpris)

Her ses prisudviklingen i vest DK hvor hovedparten af møllerne står. Priserne er vægtet med time spotpriser og produktion fra de forskellige teknologier. Tager man 2015, 17 og 18 får man flg. gennemsnitlige priser: 15, 20 og 30 øre/kWh. Hvordan fremtiden vil se ud vides ikke. De prognoser man tidligere har set har ikke ramt særlig godt. De er bl.a. meget følsomme for vandkraftmængder i Norge, som ingen kan forudsige år frem i tiden. Selv ved laveste kapacitets faktor (gns af ringeste 5% af dominerende mølletyper) og laveste elpris, bliver omkostninger højest 68% af indtjening og i gns. under 50% ved intern drift. Dette indikerer at man ikke skal forvente der bliver nedtaget møller grundet driftsøkonomi. Der vil generelt være en pæn indtjeningsmargin og dermed motivation for fortsat drift når modellen intern (Ejer driver møllerne) anvendes. Når modellen ekstern



(ejer anvender eksternt service firma) anvendes, som formodes ca. 70% dyrere, vil der være enkelte møller, der kommer tæt på grænsen, og driftsomkostninger tager hele indtjeningen. For disse møller er det dog mere sandsynligt at de sælges til firma med intern drift, end de nedtages, med mindre ejer har et ønske om at møller fjernes.

At nogle af møllerne taber produktion i tid som følge af forøget ruhed og nedslidning, hvor sidstnævnte typisk vil betyde længere driftsstop, vil næppe fremme udskiftninger. De årlige udsving i produktion grundet overordnede vindforhold er så store, at de dominerer over de små årlige reduktioner.



9 Forventninger til levetid

Iflg. aktører, vurderes det at møller ret uproblematisk kan holdes kørende til de bliver 50 år. Vestas oplyser at de har detail regnet med nyeste lastmodeller på en V47 møller og kommer frem til at 30 års drift med kendte laster ikke vil være problematisk. Da denne mølletype er den i gruppen der er dimensioneret mindst konservativt (da det er den nyeste, hvor nyere designgrundlag og mere avancerede beregningsmodeller var tilgængelige), vil de andre have klart mere levetid.

Fundament nævnes af aktører som den måske mest kritiske komponent, der ikke er let hverken at reparere eller udskifte, hvor alt andet kan og bliver udskiftet med som tidligere nævnt billigt erhvervede brugte reservedele. Der vurderes dog ikke at komme fundamentals problemer indenfor 50 års drift, og skulle der gøre det, findes der nok på nogle løsninger der også kan forlænge levetid for dette.

Der er således fra de mest erfarne aktører i Danmark i at drive ældre vindmøller en tro på at 50 års drift er realistisk, men at dette ikke er en øvre grænse. Elpriser kan, hvis de bliver meget lave, nedsætte levetiden. Vestas oplevede under de meget lave priser i 2015 at mange af deres service kunder seriøst overvejede at nedtage møller, men efter elprisen de seneste år er fordoblet, er disse overvejelser lagt på hylden.



Appendix A. Referencer

1 Stamdata register <https://ens.dk/service/statistik-data-noegletal-og-kort/data-oversigt-over-energisektoren>

2 Vindressourcekort <https://www.emd.dk/publications/wind-resource-map/>

3 Økonomiprojekt

https://www.emd.dk/files/Vindm%C3%B8llers%20%C3%B8konomi_EMD-Feb2010.pdf

4 Peggy Friis, godkendelsessekretariatet

5 Godkendte service firmaer:

<http://www.vindmoellegodkendelse.dk/service/servicefirmaer/>

6 https://saxo.ku.dk/ansatte/historie/?pure=files%2F147534272%2FBag_hegnet.pdf