

Halmfyr og afstandskrav

Teknisk notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 30. november 2017

Per Løfstrøm

Institut for Miljøvidenskab

Rekvirent:
Miljøstyrelsen
Antal sider: 17

Faglig kommentering:
Helge Rørdam Olesen

Kvalitetssikring, centret:
Vibeke Vestergaard Nielsen



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tel.: +45 8715 0000
E-mail: dce@au.dk
<http://dce.au.dk>

Indhold

1. Indledning	3
2. Metode	4
Stofemission	4
Røggasmængde og temperatur	5
Skorstens- og bygningsdata	6
Ruhed og terræn	7
3. Beregningsresultater	8
4. Sammenfatning og anbefaling	13
5. Litteratur	14
Bilag 1.	15
Detaljer for 99 % fraktilen ved terrænpåvirkning	15

1. Indledning

Miljøstyrelsen har bedt DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet om at udarbejde et notat med forslag til krav til skorstenshøjder for halmfyr med forskellig indfyret effekt med henblik på overholdelse af B-værdierne for støv og CO hos nærmeste nabo. Anbefalingerne skal tage udgangspunkt i gennemførte OML-beregninger i landzone. Af praktiske grunde formuleres kravene til skorstenshøjde indirekte via et afstandskrav til nærmeste nabo i forhold til et konkret halmfyr.

Beregninger gennemføres på baggrund af en revideret emissionsfaktor for halmfyr op til 1.000 kW uden rensning. Der tages udgangspunkt i et typisk, gennemsnitligt manuelt indfyret halmfyr opstillet i landzone. I forhold til omgivelserne undersøges en række scenarier for halmfyr opstillet på flad mark i landzone uden væsentlig bevoksning i nærheden. Betydningen af bevoksning (ruhed) og kuperet terræn belyses ved nogle eksempler.

2. Metode

Der er gennemført en række atmosfæriske spredningsberegninger med OML-modellen (Olesen et al, 2007), som også anvendes i forbindelse med regulering af virksamheder i relation til Luftvejledningen og Lugtvejledningen. OML beregner såkaldte maksimale månedlige 99 % fraktiler af luftkoncentrationen (timeværdi) i omgivelserne. I sammenhæng med Luftvejledningen sker det normalt på basis af meteorologiske data fra Kastrup 1976. Disse 99 %-fraktiler må ikke overskride B-værdier, som er fastsat for en lang række stoffer, blandt andet for CO og støv (<10 µm).

Beregningerne er udført for en række forskellige typiske halmfyr med nominelle effekter op til 1.000 kW. For hver af de nominelle effekter er den største afstand fundet, hvor B-værdien for støv eller CO ikke længere overskrides. Denne afstand kaldes i det følgende blot for afstandskravet.

For de forskellige effektstørrelser er der gennemført beregninger med en række forskellige kombinationer af skorstens- og bygningshøjder i landbrugsområde med fladt terræn. Der er ligeledes udført beregninger til belysning af betydningen af forskellige grader af bevoksning i omgivelserne (forskellig aerodynamisk ruhed) og betydningen af terræn. Endvidere er gennemført beregninger med forskellige røggas-temperaturer for at illustrere betydningen af usikkerheden på denne parameter.

Stofemission

Støv

I beregningerne er anvendt en støvemission fra halmfyr uden rensning af røggassen. Emissionen er sat til 433 g/GJ svarende til en ny revideret emissionsfaktor (Nielsen & Plejdrup 2017). Denne emission kan med brug af brændværdien for halm på 15,1 MJ/kg eller 4,2 kWh/kg (Kristensen, 2017) omregnes til en støvemission på 6,54 g/kg indfyret halm.

CO

Det er vanskeligt at angive et gennemsnitligt CO-indhold i røgen, idet det afhænger meget af halmkvaliteten (Kristensen, 2017). Fra år 2018 skal alle nye halmfyr overholde EN 305-5, klasse 5, som angiver 500 mg/Nm³ (10 % O₂) for automatiske anlæg og 700 mg/Nm³ (10 % O₂) for portionsfyrede anlæg, som svarer til værdierne for centralvarmekedler i den gældende Brændeovnsbekendtgørelse fra 2015.

I den nu ophævede standard DS/EN 303-5:1999 for biobrændsel var grænseværdierne for klasse 3 anlæg på 50-300 kW på 1.200-5.000 mg/Nm³ (10 % O₂), hvilket svarer til værdierne i den ophævede Brændeovnsbekendtgørelse fra 2007.

Da der fortsat eksisterer gamle halmfyr, antages derfor en CO-emission på maksimalt 5.000 mg/Nm³ (10 % O₂). B-værdien for CO vil altid være overholdt både for nye og gamle halmfyr, når B-værdien for støv er overholdt, som det fremgår af afsnittet herunder.

B-værdier og dimensionerende stof

B-værdien (bidragsværdi, MST 2016) er en grænseværdi for den enkelte virksomheds bidrag til luftforureningen i omgivelserne. Overholdelse af B-værdien dokumenteres ved OML-modellens månedlige 99%-fraktiler. B-værdierne for støv og CO er henholdsvis 0,08 og 1 mg/m³, som angivet i Tabel 1.

Det antages, at forholdet mellem støv og CO emissioner er ens for de forskellige nominelle effekter. Da spredningen i luften af de to stoffer er ens, vil det være forholdet mellem emissionen og B-værdien, den såkaldte S-faktor (spredningsfaktor) fra Luftvejledningen, som vil afgøre hvilket af de to stoffer, der vil være dimensionerende i forhold til et afstandskrav. For eksempel vil afbrænding af 15 kg halm i timen give en støvemission på 27,3 mg/s (6,54 g/kg * 15 kg/3600 s). Med en CO-emissionen mindre end 5000 mg/Nm³, og en røggasmængde på 8,45 Nm³/kg halm (se næste afsnit om røggasmængde) vil CO-emissionen være mindre end 176 mg/s (5000 mg/Nm³ * 8,45 Nm³/kg * 15/3600 kg/s). Dette giver S-faktorer på 314 for støv og mindre end 176 for CO. Det er således støv, der vil være det dimensionerende stof. Denne konklusion gælder uanset, om der afbrændes mere eller mindre halm end 15 kg/time (S-faktoren ændrer sig proportionalt med halmmængden). Tallene er vist i Tabel 1. De efterfølgende OML-beregninger vil derfor udelukkende vedrøre støv.

Tabel 1.
B-værdier samt eksempel på emissioner og S-faktor for støv og CO ved afbrænding af 15 kg halm i timen.

Stofnavn	B-værdi mg/m ³	Emiss. mg/Nm ³	Emiss. mg/s	S-faktor
Støv, inert, under 10 µm	0,08		27.3	314
CO, Carbonmonoxid	1	<5000	176	<176

Røggasmængde og temperatur

Røggasmængden og temperaturen kan være vigtige parameter ved OML-beregninger. Temperaturen i røggassen fra halmfyre kan variere en del, men ligger typisk omkring 150-200° C og afhænger af skorstenens isolering samt utætheder (Kristensen, 2017). I beregningerne er valgt at anvende 150° C. Betydningen af dette valg er ikke så afgørende her, hvilket de senere beregninger viser.

Røggasmængden afhænger af den indfyrede effekt. Da Luftvejledningen angiver, at OML-beregningerne skal foretages under maksimal emission, her svarende til den nominelle effekt, skal der tages hensyn til virkningsgraden, som er mindre end 100 %. Der er i EN 305-5 krav til virkningsgraden på ca. 80-90% afhængig af klasse, men under normal drift og vedligeholdelse vil en gennemsnitlig virkningsgrad ofte kun være 70-80 % (Kristensen, 2017). Det er valgt lidt konservativt at anvende en virkningsgrad på 80 % ved maksimal belastning.

Virkningsgraden af halmfyret og brændværdien af halmen bestemmer mængden af indfyret halm, når en given nominel effekt skal opnås. Brændværdien for halm varierer. Her er anvendt en værdi på 4,2 kWh/kg

(15,1 MJ/kg). For at opnå en nominel effekt på fx 300 kW skal der således indfyres halm svarende til effekt på 375 kW, hvilket svarer til 89.3 kg/h (375 kW/4,2 kW/kg).

Den tilhørende fugtige røggasmængde ved forbrænding af fx 1 kg halm beregnes efter anvisningen i Luftvejledningens kap. 6.8 som $85/(21\%O_2)+0,72 \text{ Nm}^3$, hvor $\%O_2$ er iltindholdet i røggassen i volumenprocent. Ved 10 % ilt fås $8,45 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ halm. Med en støvemission på 6,54 g/kg halm fås en emissionskoncentration på $0,77 \text{ g/Nm}^3$.

Den typiske iltprocent for halmfyr er på 8 (Kristensen, 2017) svarende til en røggasmængde på $7,26 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ halm. Denne værdi er anvendt til beregning af emission. I Tabel 2 er vist beregnet støvemission, røggasmængde og -hastighed for de forskellige nominelle effekter anvendt i beregningerne i kapitel 3. Røggashastigheden er for en indre skorstensdiameter på 0,4 m.

Eksempelvis kræves det for at opnå en nominel effekt på 60 kW ved 80 % effektivitet, at der skal indfyres halm med effekt på 75 kW (60/0,8) svarende til 17,9 kg/h (75/4,2/3600). Dette giver en støvemission på 0,032 g/s (17,9/3600*6,54) og en røggasmængde på $0,056 \text{ m}^3/\text{s}$ (17,9/3600*7,26* (273+150)/273).

Tabel 2. Støvemission, røggasmængde og hastighed for en række størrelser af halmfyr anvendt i OML-beregninger. Røggasdata er for temperatur på 150° C, iltprocent på 8 og effektivitet på 80%.

Nominel effekt (kW)	60	120	200	300	400	500	600	700	825	950	1000
Emission (g/s)	0,032	0,065	0,108	0,162	0,217	0,271	0,325	0,379	0,447	0,514	0,541
Røggasmængde (m ³ /s)	0,056	0,112	0,186	0,279	0,372	0,465	0,558	0,651	0,767	0,883	0,930
Røggashastighed (m/s)	0,4	0,9	1,5	2,2	3,0	3,7	4,4	5,2	6,1	7,0	7,4

Skorstens- og bygningsdata

Skorstenshøjden og højden af nærvedliggende bygninger har meget stor betydning for koncentrationerne i omgivelserne. Højderne er meget forskellige, som illustreret ved fotos i figur 1.

Der er valgt at tage udgangspunkt i den mest kritiske situation med en lav skorsten på 6 m, som kun er en meter over tag på en kedelbygning på 5 m. For den samme bygningshøjde (5 m) er også foretaget beregninger for skorstene med højderne 8, 10, 12 og 13 m. Skorstenshøjden regnes overalt i nærværende notat som afstanden fra jordoverfladen til toppen af skorstenen.

Alle skorstene har en indvendig og udvendig diameter på henholdsvis 0,40 og 0,42 m.



Figur 1. Eksempler på skorstene og bygninger i forbindelse med halmfyr.

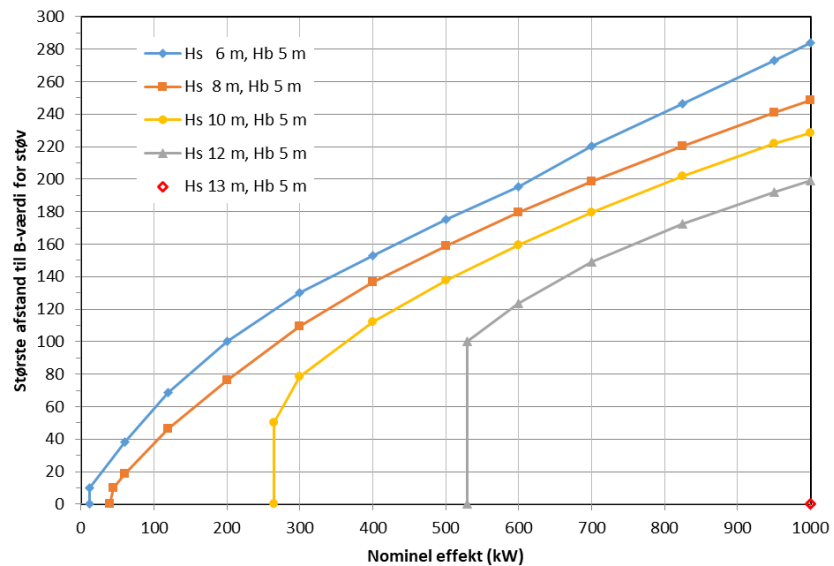
Ruhed og terræn

For alle de grundlæggende beregninger udført for halmfyrene i Tabel 2, er der anvendt en aerodynamisk ruhed på 0,1 m, svarende til typisk dansk landbrugsområde med spredtliggende gårde og læhegn; endvidere er forudsat fladt terræn.

Der er desuden udført beregninger for den laveste (mest belastende) skorsten, hvor ruheden er henholdsvis 0,3 m (mange læhegn og bygninger) og 1,0 m (skov), og endvidere for terræn omkring kilden, som stiger med 3, 5 og 10 grader i alle retninger.

3. Beregningsresultater

I figur 2 er vist afstandskrav som funktion af den nominelle effekt for de forskellige skorstenshøjder med bygning på 5 m. De mest restriktive afstandskrav ses for skorstenen på 6 m. For en skorsten på 13 m er der ingen afstandskrav for nominel effekt under 1.000 kW. I den lave ende af den nominelle effekt er kurverne 'lodrette', hvilket viser, at for lavere effekter er B-værdien overholdt uanset afstand (intet afstandskrav).



Figur 2. Afstandskrav (største afstand, hvor B-værdien for støv tangeres) for halmfyr med forskellige nominel effekt og forskellige skorstenshøjder (Hs) med bygningshøjde (Hb) på 5 m.

Betydning af røggastemperaturen er vist i figur 3 med beregninger for temperaturer på 100°, 150° og 200° C for 6 m skorstenen med 5 m bygning. Her er kurverne for 150° og 200° C næsten ens op til en nominel effekt på 500 kW, hvorefter 150° C kurven er lidt mere restriktiv. For en nominel effekt over 200 kW er kurven for en røggastemperatur på 100° C mere restriktiv end for en temperatur på 150° C.

Betydningen af det omgivende landskabs aerodynamiske ruhed er vist for 6 m skorstenen med 5 m bygning med eksempler på 3 forskellige ruheder, z_0 , på 0,1 (som i figur 2), 0,3 og 1,0 m. Det ses, at ruheden på 0,1 m er den mest skærpende for de fleste størrelser af halmfyr, dog er $z_0=1$ m en smule mere restriktiv for mellemstørrelser halmfyr.

I OML har terrænet indflydelse på den beregnede koncentration via hældningen af terrænet og højdeforskellen i terrænet mellem skorstenen og receptoren (naboen). Betydningen af højden af det omgivne terræn er vist ved eksempler i figur 4. Her er kilderne placeret i et hul således, at terrænet i alle retninger stiger med en konstant hældning på 3, 5 eller 10 grader. Til sammenligning er også vist data for fladt terræn fra figur 2. For

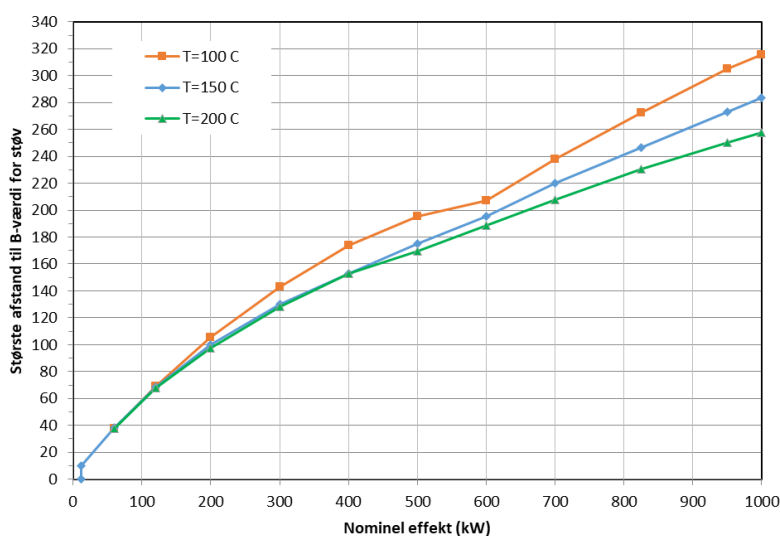
3, 5 og 10 grader sker der en brat stigning i afstandskravet for nominelle effekter over henholdsvis 950 kW, 400 kW og 120 kW.

Forklaringen er, at for fladt eller svagt stigende terræn vil de mest kritiske situationer for høje koncentrationer i de nære omgivelser være i dagtimerne med ustabil vertikal temperaturstratificering (solopvarmning af jordoverfladen), som medfører stor vertikal turbulens og spredning til jordoverfladen. I de situationer vil røgfaner også lettere stige til vejrs og følge terrænets forløb. Men i nattetimer med en stabil temperaturstratificering (afkøling af jordoverfladen) har røgfaner mindre vertikal spredning (lavere koncentrationer ved jorden), men har til gengæld vanskeligt ved at bevæge sig i vertikal retning. Det betyder, at røgfanen ikke så let bevæger sig op over en bakke, men derimod har tendens til ved meget stabile stratificeringer at forblive i samme højde og ramme/komme tæt på eventuelle bakker. Koncentrationen er derfor styret af, hvor meget en røgfan når at fortyndes inden den rammer en høj bakke. For terrænet med 5 graders hældning har røgfanen fra fyr med nominel effekt på mere end 500 kW således ikke nået at blive fortyndet tilstrækkeligt inden den kritiske terrænhøjde nås. For højere skorstene vil den bratte stigning først slå igennem i større afstande og måske vil fortyndingen være så stor at stigningen er mindre markant.

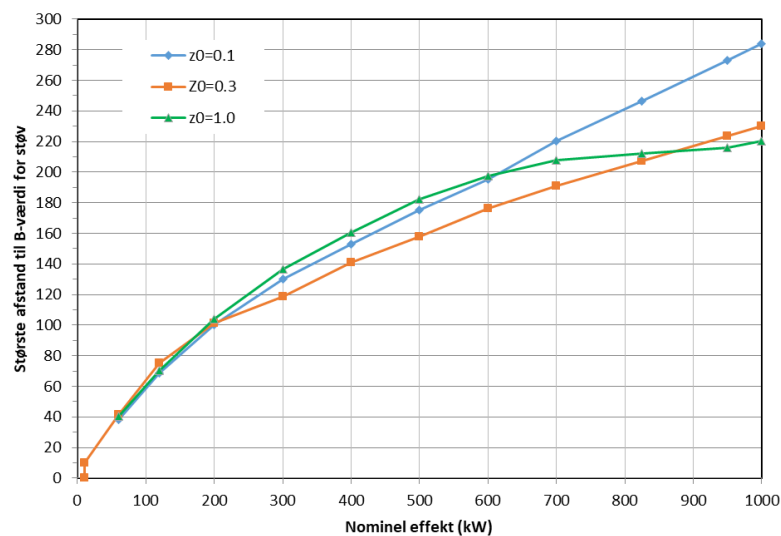
I bilag 1 er vist detaljer for hvordan 99%-fraktilen for de forskellige nominelle effekter ændres med afstanden fra kilden ved terrænhældning på 5 og 10 grader. Kurverne kan hjælpe til at forstå kurveforløbene i figur 5.

Beregninger i bilaget viser, at ved større ruhed (0,3 m) indtræder de markant skærpede krav for skorstenen på 6 m kun for 10 graders terrænhældning (Bilag 1).

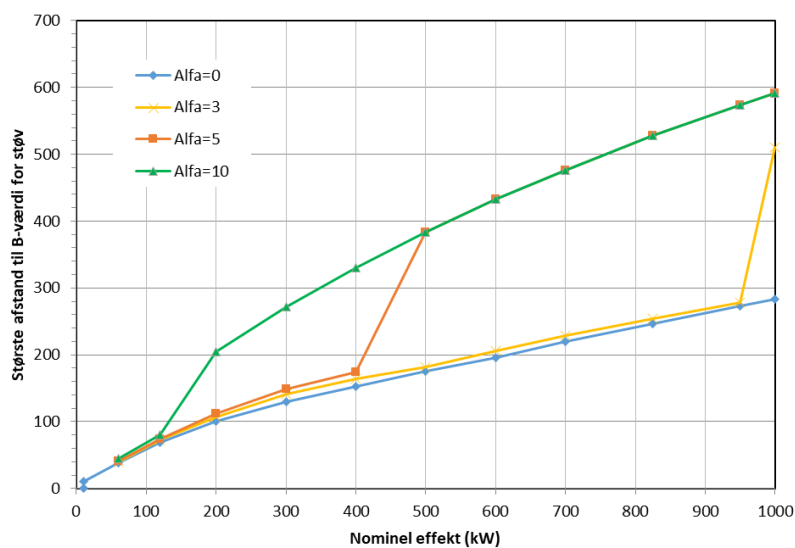
Der kan tænkes mange forskellige kombinationer af bakkehøjder, afstanden til bakkerne og terrænhældningen. Det er derfor ikke muligt på simpel og overskuelig vis at beskrive afstandskrav for de mange situationer. Her vil hver situation kræve en konkret OML-beregning.



Figur 3. Betydning af røggastemperatur (T) for skorstenshøjde på 6 m med bygningshøjde på 5 m. Ruhed 0,1 m.



Figur 4. Betydning af ruhed (z_0 , m) for skorstenshøjde på 6 m med bygningshøjde på 5 m.



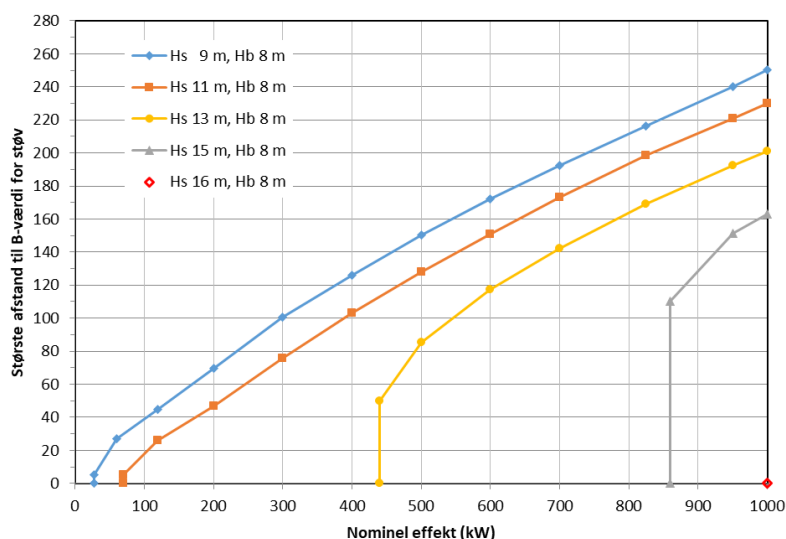
Figur 5. Betydning af terræn ved forskellige hældninger (Alfa, grader) for skorstenshøjde på 6 m med bygningshøjde på 5 m. Ruhed 0,1 m.

Beregninger for bygningshøjder større end 5 m

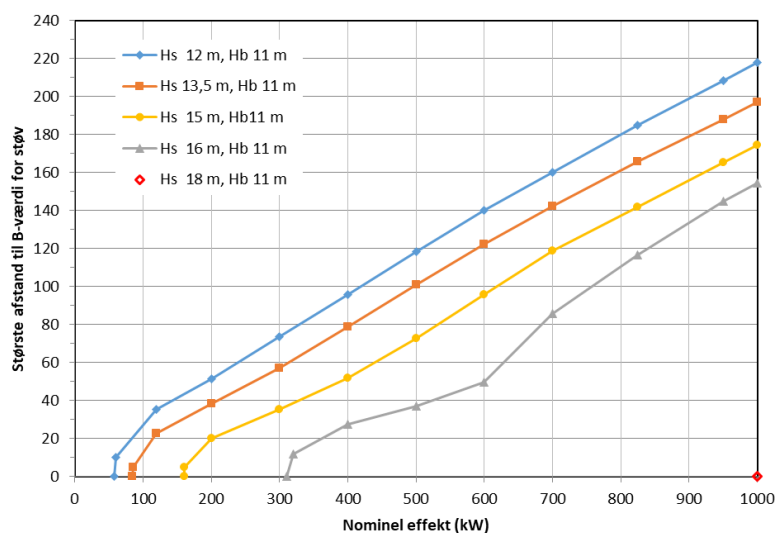
På grund af de komplicerede samspil mellem ruhed og terræn er der i det resterende kun vist beregninger for fladt terræn i landbrugsområde. Der er foretaget beregninger for bygningshøjder på henholdsvis 8, 11 og 15 m for forskellige skorstenshøjder på 1 m over tag og højere. Resultaterne fremgår af figur 6, 7 og 8.

For bygningshøjderne 8, 11 og 15 m vil der for en skorstenshøjde på henholdsvis 16, 18 og 22 m ikke være noget afstandskrav for halmfyr op til 1.000 kW.

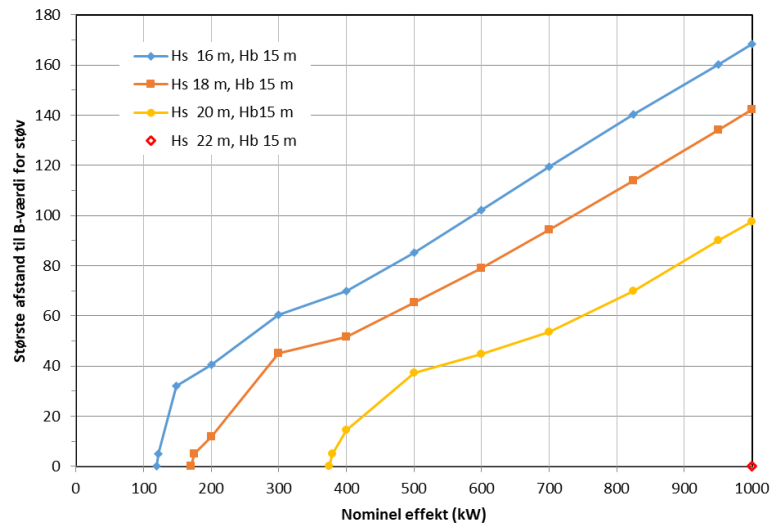
I en konkret ukompliceret situation, dvs. forholdsvis fladt terræn i landbrugsområde, vil man med brug af figurerne 2, 6, 7 og 8 i mange tilfælde kunne foretage en rimelig sikker vurdering af, i hvilken afstand B-værdierne for støv og CO er overholdt.



Figur 6. Afstandskrav (største afstand, hvor B-værdien for støv tangeres) for halmfyr med forskellige nominel effekt og forskellige skorstenshøjder (Hs) med bygningshøjde (Hb) på 8 m.



Figur 7. Afstandskrav (største afstand, hvor B-værdien for støv tangeres) for halmfyr med forskellige nominel effekt og forskellige skorstenshøjder (Hs) med bygningshøjde (Hb) på 11 m.



Figur 8. Afstandskrav (største afstand, hvor B-værdien for støv tangeres) for halmfyr med forskellige nominel effekt og forskellige skorstenshøjder (Hs) med bygningshøjde (Hb) på 15 m.

4. Sammenfatning og anbefaling

Der er udført OML-beregninger for halmfyr med forskellig nominel effekt op til 1.000 kW med henblik på at bestemme afstandskrav for overholdelse af B-værdier (grænseværdier) for støv og CO hos nærmeste nabo. Beregningerne er udført under forskellige forudsætninger om halmfyrene. Der er beregnet for forskellige skorstenshøjder, idet skorstenen er placeret ved eller på en bygning med højde 5, 8, 11 eller 15 m. På basis af B-værdier for støv og CO samt en ny revideret emissionsfaktor for støv, kan det udledes, at støv er det dimensionerende af de to stoffer. De afgørende kildeparametre er skorstens- og bygningshøjde – udover selvfølgelig emissionen. Røggastemperaturen er kun mindre betydende for temperature på 150° C eller mere.

Med hensyn til omgivelserne har ruheden indflydelse på afstandskravene. For fladt terræn vil den mindste ruhed i de fleste tilfælde være mest restriktiv i forhold til afstandskravet.

Det er ikke muligt på enkel vis at håndtere/forsimple de mange mulige forskellige kombinationer af bakkehøjder, afstanden til bakkerne og terrænhældningen. For en lav skorsten på 6 m (1 m over en 5 meter høj bygning) vil terrænhældninger kunne medføre markant øgede afstandskrav i landområder (ruhed 0,1 m). Eksempelvis bliver afstandskravet omtrent fordoblet ved hældninger på 3, 5 og 10 grader for halmfyr over 950, 500 respektive 200 kW. Beregninger for den samme skorsten viser, at ved større ruhed (0,3 m) er terrænnets betydning mindre, og de markant skærpede krav optræder først ved en terrænhældning på over 5 grader.

Forslag til afstandskrav

En simpel og lidt konservativ vurdering af om afstandskrav for støv og CO er overholdt kan foretages for fladt terræn i landbrugsområde ved brug af figurerne 2, 6, 7 og 8 – figurerne vedrører hver sin bygningshøjde. For en konkret skorstens- og bygningshøjde vælges figuren med samme bygningshøjde eller nærmeste større bygningshøjde. Herefter vælges kurven for skorstenen med samme eller nærmeste mindre skorstenshøjde, og afstandskravet aflæses for den aktuelle nominelle effekt for kedlen.

5. Litteratur

Brændeovnsbekendtgørelsen, 2007. BEK nr. 1432 af 11/12/2007. Bekendtgørelse om regulering af luftforurening fra brændeovne og brændekedler samt visse andre faste anlæg til energiproduktion.

Brændeovnsbekendtgørelsen, 2015. BEK nr. 1461 af 07/12/2015. Bekendtgørelse om regulering af luftforurening fra fyringsanlæg til fast brændsel under 1 MW.

Kristensen, J. K. (2017). Personlig kommunikation. Aarhus Universitet, Institut for Ingeniørvidenskab.

Luftvejledningen (2001). Begrænsning af luftforurening fra virksomheder. Vejledning fra miljøstyrelsen Nr. 2, 2001.

Miljøstyrelsen, 2016. Vejledning om B-værdier. Vejledning nr. 20, august 2016, Miljøstyrelsen.

Nielsen, M. & Plejdrup, M. (2017). Små halmfyrede anlæg. Opdatering af eksisterende viden om partikelemissioner og geografisk placering. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 14. september 2017.

Olesen, H.R., Berkowicz, R. & Løfstrøm, P. (2007). OML: Review of model formulation. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. - NERI Technical Report 609: 130 pp. (electronic). Available at: <http://www.dmu.dk/Pub/FR609.pdf>.

Bilag 1.

Detaljer for 99 % fraktilen ved terrænpåvirkning

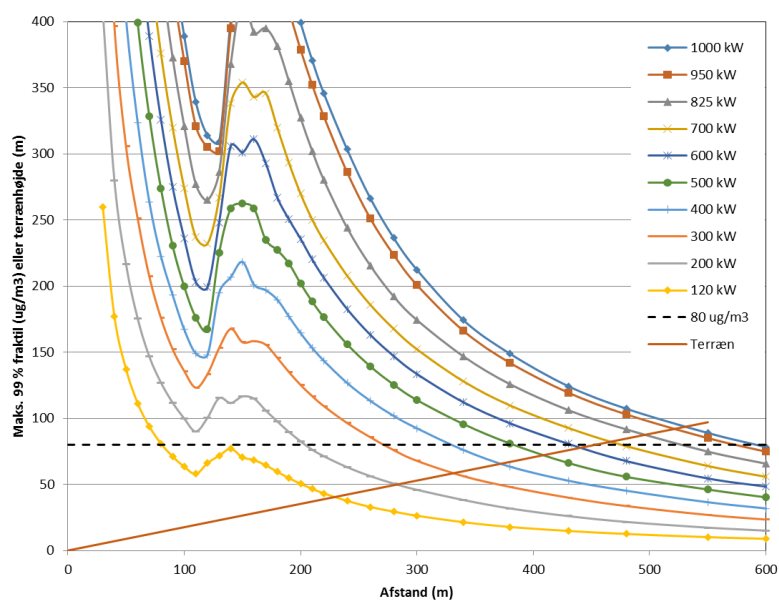
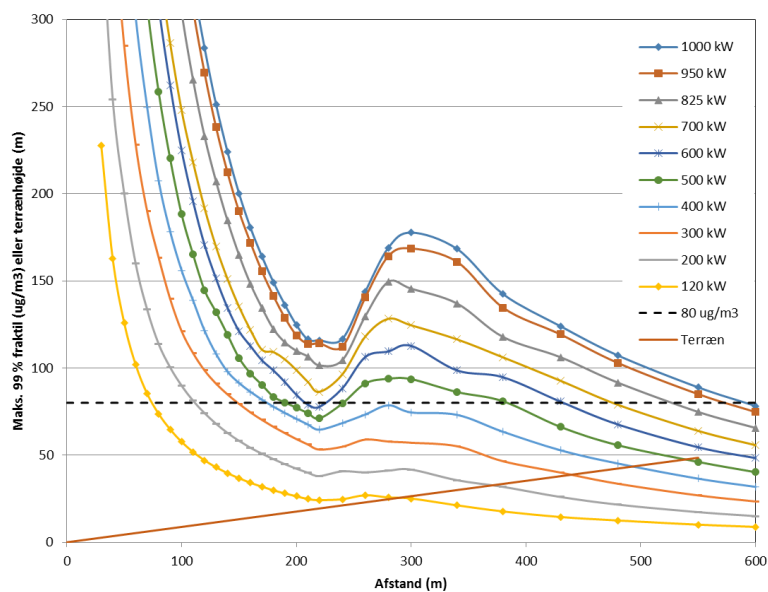
Figur B1 viser hvordan den maksimale månedlige 99% fraktil for støv ændres med afstanden fra en 6 m høj skorsten med 5 m bygning (1 m over tag) for forskellige nominelle effekter ved terrænhældning på 5 grader (øverst) og 10 grader (nederst). Beregningerne er for landbrugsområde med en ruhed på 0,1 m.

Først aftager 99 % fraktilen med afstanden, men i afstanden, hvor terrænet når en højde på ca. 25 m, begynder fraktilen at stige midlertidigt, idet røgfanerne kommer tæt på terrænet. I større afstande er effekten af fortyndingen større end terrænets betydning, og koncentrationen aftager.

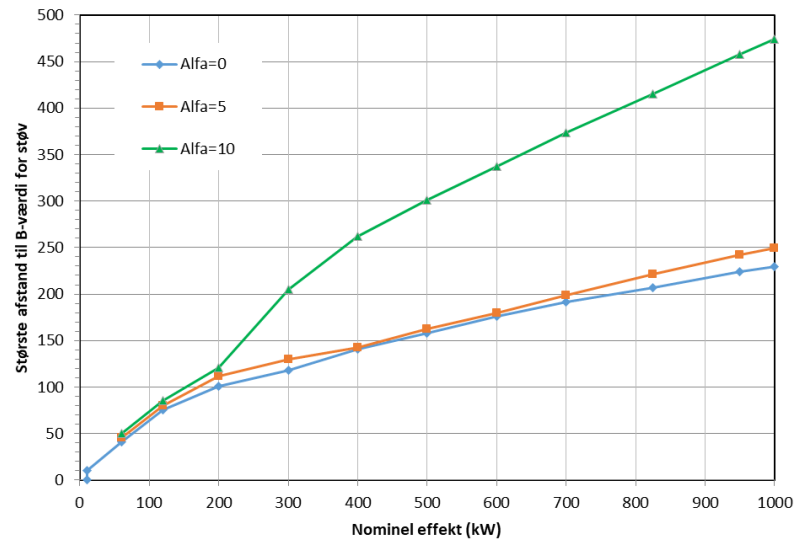
For nogle nominelle effekter når kurven at dykke under $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (B-værdien for støv) inden den i større afstande igen stiger over $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for endelig at forblive på et lavere niveau i store afstande. For 5 graders hældning ses dette forløb for en nominel effekt på 500 kW, men for 400 kW krydses $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kun en gang. Dette giver det 'hop' i afstandskravet mellem 400 og 500 kW, som ses på figur 5 i notatet.

Ruhed på 0,3 m

For en ruhed på 0,3 m ændres forholdene vedrørende terrænets indflydelse sig markant, sammenlignet med en terrænuhed på 0,1 m. Det fremgår ved at sammenligne Figur B2 med figur 5 i notatet. I figur B2 er turbulensen større, og dermed er fortyndingen større inden røgfanen rammer eller kommer tæt på jordoverfladen. For hældninger på 5 grader (og mindre) har terrænet kun en beskedne effekt.



Figur B1. Terrænets betydning for størrelsen af den maksimale 99 % fraktil for støv fra en skorsten på 6 m med bygning på 5 m. Terrænhældning på 5 grader (øverst) og 10 grader (nederst). Den nominelle effekt for hver kurve samt terrænhøjde er angivet i figuren. Ruhed på 0,1 m.



Figur B2. Betydning af terræn ved forskellige hældninger (Alfa) i grader for skorstenshøjde på 6 m med bygning på 5 m. Ruhed 0,3 m.