



Vedvarende energi

Revideret 15/12 - 2015

TEKNIQ
INSTALLATØRERNES ORGANISATION

 **BLIK&RØR**
ARBEJDERFORBUNDET

Solstråling

Det nordiske klima er ikke det mest solrige. Derfor har den danske solfangerbranche været nødt til at udvikle nogle af verdens mest effektive solvarmeanlæg.

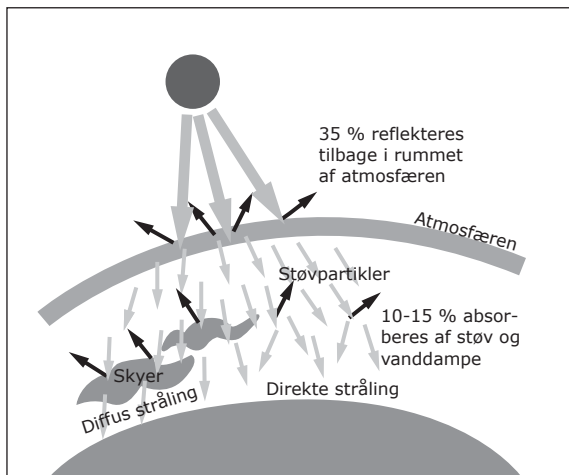
I Danmark udgør den indfaldende solstråling i gennemsnit 1000 kWh/år/m² på en flade, der vender mod syd med en hældning på 45 grader fra vandret. En effektiv solfanger kan under optimale forhold opfange op til 80 % af denne energi.

Den typiske ydelse for et lille solvarmeanlæg til opvarmning af brugsvand ligger på 500 kWh/år/m².

Når solens stråler rammer jorden, har de mistet noget af energien til atmosfæren.

Den energi, som når jorden, kan indeles i »direkte« og »diffus« stråling.

Den direkte stråling er kun blevet udsat for en ubetydelig retningsændring eller spredning i atmosfæren, hvorimod den diffuse stråling er blevet spredt af andre partikler i atmosfæren, så den ikke længere har én bestemt retning.



Udenfor atmosfæren har man bestemt mængden af den energi, der rammer en flade vinkelret på solen til 1353 W/m², dette kaldes solkonstanten.



Solvarme

Solsolstrålingens energiindhold

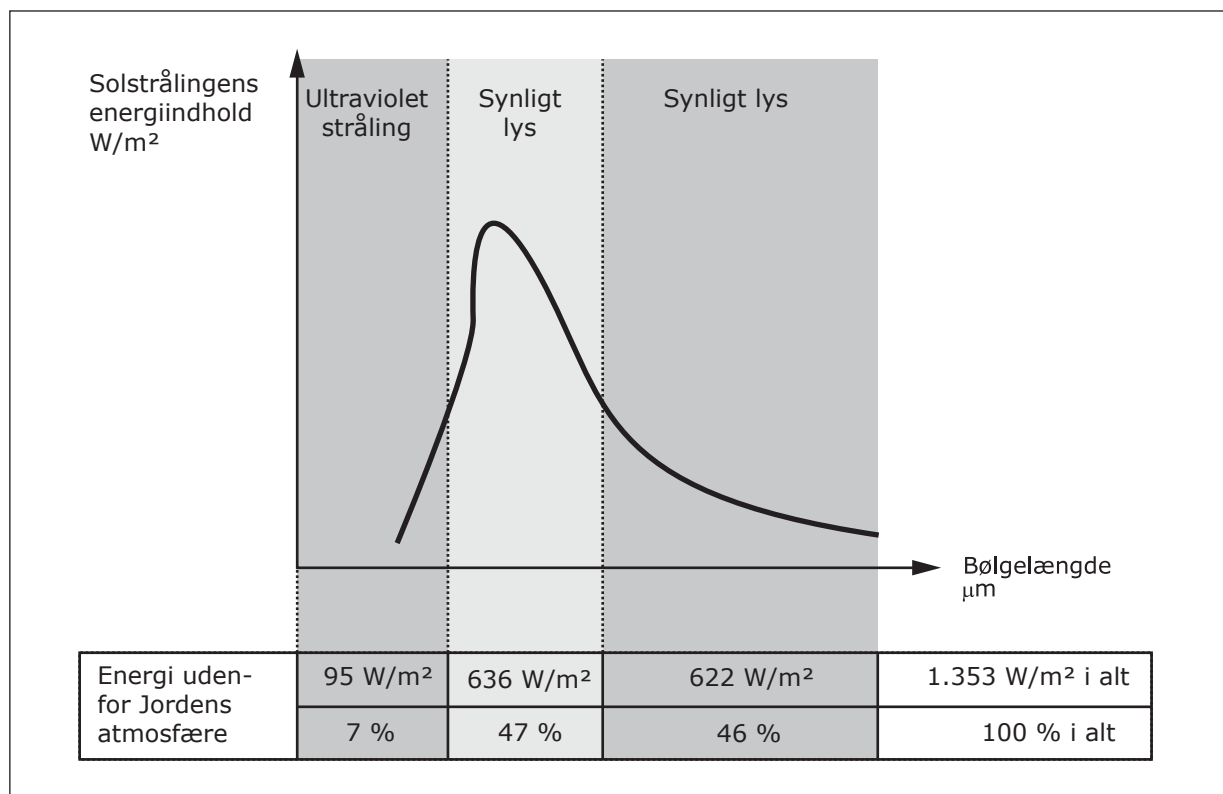
Solenergi er strålingsenergi - også kaldet elektromagnetisk stråling. Det dannes ved at brint omdannes til helium i solens kerne.

Hvert sekund omdannes 4 mio. tons brint til helium, som er mere energi end menneskeheden har brugt i hele verdens historie.

Solenergi sendes ud fra solens overflade i forskellige bølgelængder, der kan opdeles i tre grupper:

1. Det ultraviolette område med de korte bølgelængder.
2. Synlig stråling med mellemlange bølgelængder.
3. Det infrarøde område med lange bølgelængder.

Sollys har en hastighed på ca. 300.000 km/sek.





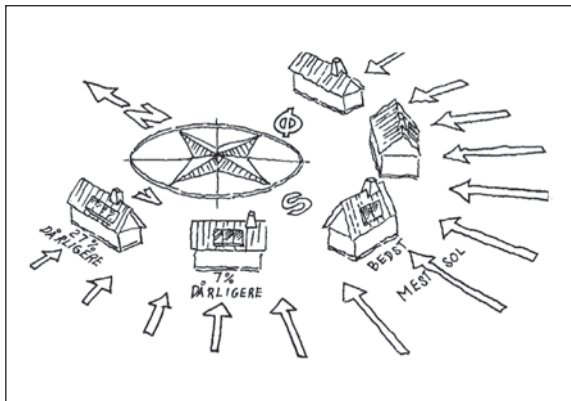
Solvarme

Solfangerhældning og -orientering

Solfangerens hældning og orientering afgøres i praksis af taget på huset.

Den bedste hældning for kombinerede brugs- og rumopvarmningsanlæg er 60°, idet solen ikke står så højt på himlen i Danmark, når der er brug for rumvarme. For brugsvandsanlæg er den bedste hældning 45°, idet denne vinkel giver den største ydelse jævnt fordelt over året.

Den bedste solfangerorientering er i sydretningen og indtil 30° til hver side er der ikke væsentlig ydelsesnedgang.



Hvis solfangeren drejes 90° væk fra syd, altså stik øst eller vest, mistes 20 - 30 % af ydelsen.

45° hældning sydvendt = 100 %

Den bedste placering af solfangeren er mod syd. Vender den mod en anden kompasretning nedsættes ydelsen. Reduktionen er dog beskedent, hvis solfangeren blot er sydvest- eller sydøstvendt. Der kan kompenseres for det mindre udbytte ved, at opsætte et større solfangerareal.

Solfangerens bedste hældning i forhold til vandret afhænger om anlægget skal anvendes til opvarmning af brugsvand alene eller om det også skal anvendes til rumopvarmning.

Til brugsvandsanlæg er den bedste hældning mellem 30° og 45°. Skal der rumvarme med, er 60° den bedste hældning.

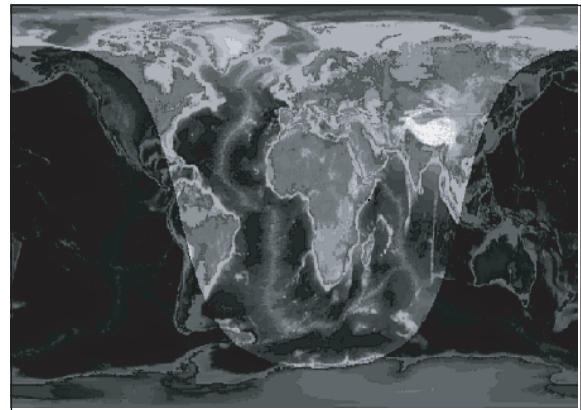
Solstrålernes vej til jorden

Jorden drejer om sin egen akse én gang i døgnet.

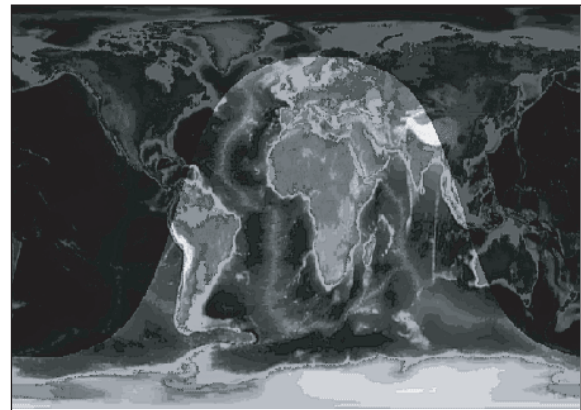
Jorden bevæger sig i en bane rundt om solen én gang om året.

Da jordens egen rotationsakse ikke er vinkelret på banen rundt om solen, oplever vi skift i årstiderne. Det er mest udtalt ved polerne.

I den periode vi kalder sommer på den nordlige halvkugle, er det lyst døgnet rundt ved nordpolen og mørkt døgnet rundt ved sydpolen.



Juli måned klokken 12.00 dansk tid



December måned klokken 12.00 dansk tid



Solvarme

Solvarmeanlæg

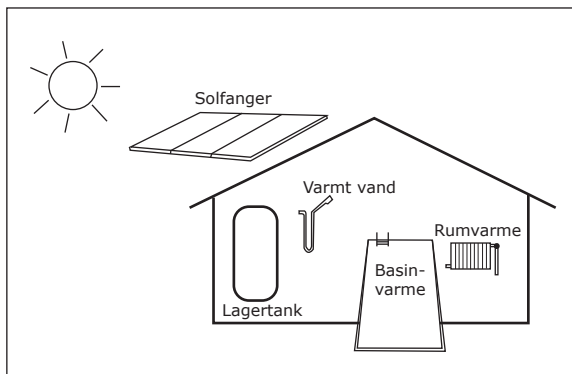
Siden oliekrise i begyndelsen af 70'erne har der været en stigende interesse for anvendelse af solvarmeanlæg til rumopvarmning og til opvarmning af brugsvand.

Der er i dag rigtig mange anlæg i drift i Danmark. Hovedparten af disse anlæg er til opvarmning af brugsvand. Derudover anvendes solvarme til opvarmning af svømmebassiner i industriprocesser og i større kollektive anlæg f.eks. i kombination med andre vedvarende energianlæg.

Princip

Ved solvarmeanlæg forstås anlæg, der omsætter solens strålingsenergi til varme (termisk energi). Strålingsenergien er både den direkte stråling fra solen og den diffuse stråling fra himmelrummet. På en gråvejrsdag er der kun diffus indstråling og solvarmeanlægget producerer stadig energi.

Et solvarmeanlæg består af en solfanger, forbundet til en lagertank med et rørsystem, kaldet solfangerkredsen.



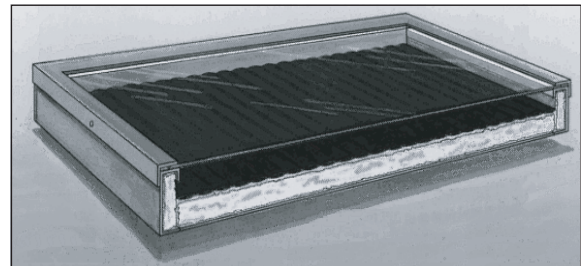
Stort set alle anlæg er opbygget med plane solfangere, der har væske som varmemedie. Det efterfølgende vil kun omhandle denne type solfangere, da de i dag er de mest udviklede og anvendte til individuelle anlæg.

Ved opvarmning af brugsvand kan solvarmen dække næsten 100 % af behovet i sommermånederne og typisk 60 % af det årlige forbrug. Ved rum og brugsvandsopvarmning kan solvarmen dække 25 - 35 %.

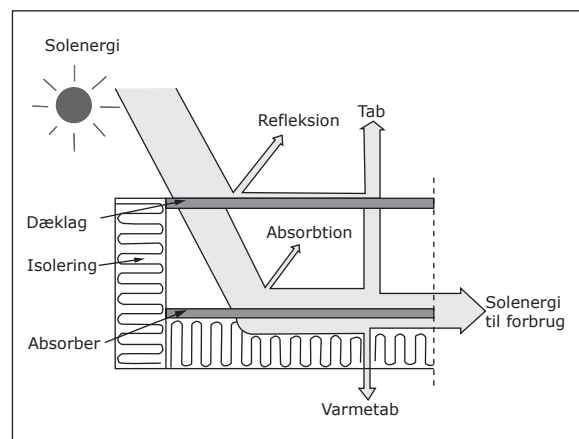
Begge anlægstyper suppleres derfor med andre energikilder. En større dækningsgrad med et rumopvarmningsanlæg vil kræve uforholdsmæssige store og dyre anlæg.

Solfangere

En solfanger består i princippet af en sort plade, kaldet absorberen, placeret i en isole-ret kasse.



At fange solen sker ved, at solstrålingen, der er en kortbølget stråling, passerer dæklaget og optages af absorberen.





Solvarme

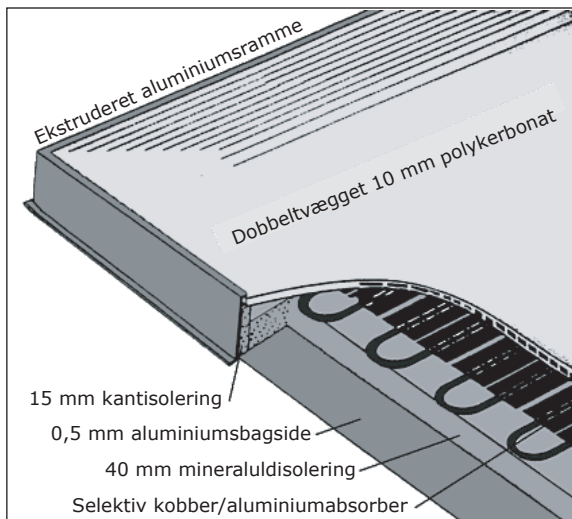
Absorbere

I absorberen strømmer en solfangervæske, der leder den optagne energi til varmtvandsbeholderen.

For at minimere varmetabet fra absorberen påføres den en selektiv belægning og solfangerkassen isoleres i bunden og på siderne.

Den selektive belægning mindsker absorberens varmetab, specielt ved høje temperaturer.

Belægningen kan påføres elektrolytisk eller det kan være en selvklebende folie.



I princippet anvendes der følgende typer absorbere:

- Pladerørsabsorber f.eks. kobberør valset ind i aluminiumsplade (selektiv belægning sort nikkel).
- Pladerørsabsorber f.eks. kobberør valset ind i kobberplade (selektiv belægning nikkel + sort krom).
- Kanalpladeabsorber f.eks. af rustfrit stål.
- Polypropylenrør på fiberplade.
- Vakuumisoleret glaserør.

De fire typer kan kombineres som:

- Pladerørsabsorber med polykarbonat dækplade og aluminiumsramme
- Pladerørsabsorber med glasdækplade og aluminiumsramme
- Pladerørsabsorber med glasdækplade, teflon folie og aluminiumsramme
- Kanalabsorber med polykarbonat dækplade og aluminiumsramme
- Kanalpladeabsorber med glasdækplade og rustfast stålramme
- Polypropylen rørabsorber med polykarbonat dækplade og aluminiumsramme
- Glaserørsabsorber vacuumisoleret

Dæklag

Som dæklag anvendes normalt glas, jernfattigt glas, jernfrit glas eller en dobbelt polykarbonatplade. Der er fordele og ulemper ved begge typer.

Glasset slipper mere lys igennem, hvilket giver en større energiproduktion. Glas går lettere itu end polykarbonatpladen.

Den dobbelte polykarbonatplade isolerer bedre end glasset og har derfor mindre varmetab, især når det er koldt og blæsende.

Til gengæld mister polykarbonat ca. 1 % af lysgennemgangen om året, hvor glasset stort set bevares uændret.

Der kan også anvendes en kombination af glas yderst og en teflon folie mellem glasset og absorbereren.



Solvarme

Termiske solfangersystemer

VITOSOL 300

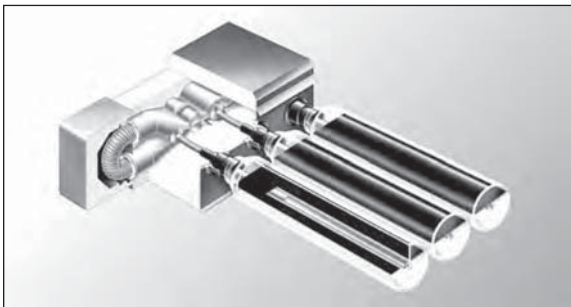
- Vakuum-rørkollektor
- Heatpipe-princippet
- Sol-titanbelægning
- Kollektorflade: 2 og 3 m²



Vitosol 300 er en højtydende solfanger i topklasse, som bygger på det velkendte Heatpipe-princip.

Den egner sig ikke blot til opvarmning af brugsvand og svømmebassiner, men også som supplement til rumopvarmning. Med Heatpipe-systemet gennemstrømmes rørene ikke direkte af solfangervæsken.

I en speciel absorber cirkulerer bæremediet, som ved solens indstråling fordampes, og varmen afgives via en varmeveksler til solfangervæsken.

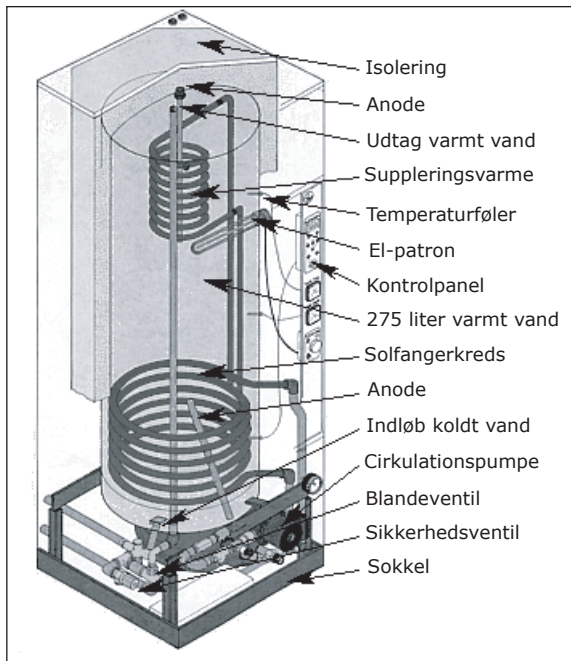


Indlysende fordele:

- Vakuum-rørkollektor efter Heatpipe-princippet.
- Absorberflade: 2 og 3 m².
- Ekstrem høj virkningsgrad på grund af Sol-titanbelagte absorbere, reducere af termiske tab på grund af vakuum-kollektor-rørene.
- Bedre varmeudnyttelse på grund af den patenterede varmeveksler "Duotec" med dobbelte rør, som næsten omslutter kondensatorerne på hele fladen.
- Universal anvendelse til flade og skrå tage og til fritstående montage. Rørene kan indstilles optimalt efter solen.
- Højeffektive, korrosionsbestandige materialer som borosilikat-glas, kobber og rustfrit stål garanterer høj driftssikkerhed og lang levetid.
- Integreret temperaturbegrænsning til beskyttelse mod overophedning.
- Det tyske miljømærke "Blauer Engel" og kvalitetstest fra SPF-Institut Rapperswil.



Solvarmebeholdere



Lagertanke er høje og slanke, for at det varme vand kan lagres i forskellige temperaturlag. Lagdeling i brugsvandet er vigtigt, da solfangervæsken er bedst til at afgive energi til brugsvandet når temperaturforskellen mellem solfangerkredsen og brugsvandet er så stor som muligt.

Om aftenen, når solen har opvarmet vandet, er lagertanken opladet og om morgenen er lagertanken afladet.

Det kolde brugsvand tilføres nederst i lagertanken og for at det ikke skal lave turbulens i lagdelingen er indløbet forsynet med en plade, som spreder vandet i bunden af lagertanken.

Solfangerkredsens varmeveksleren er anbragt i den nederste 1/6 af beholderen.

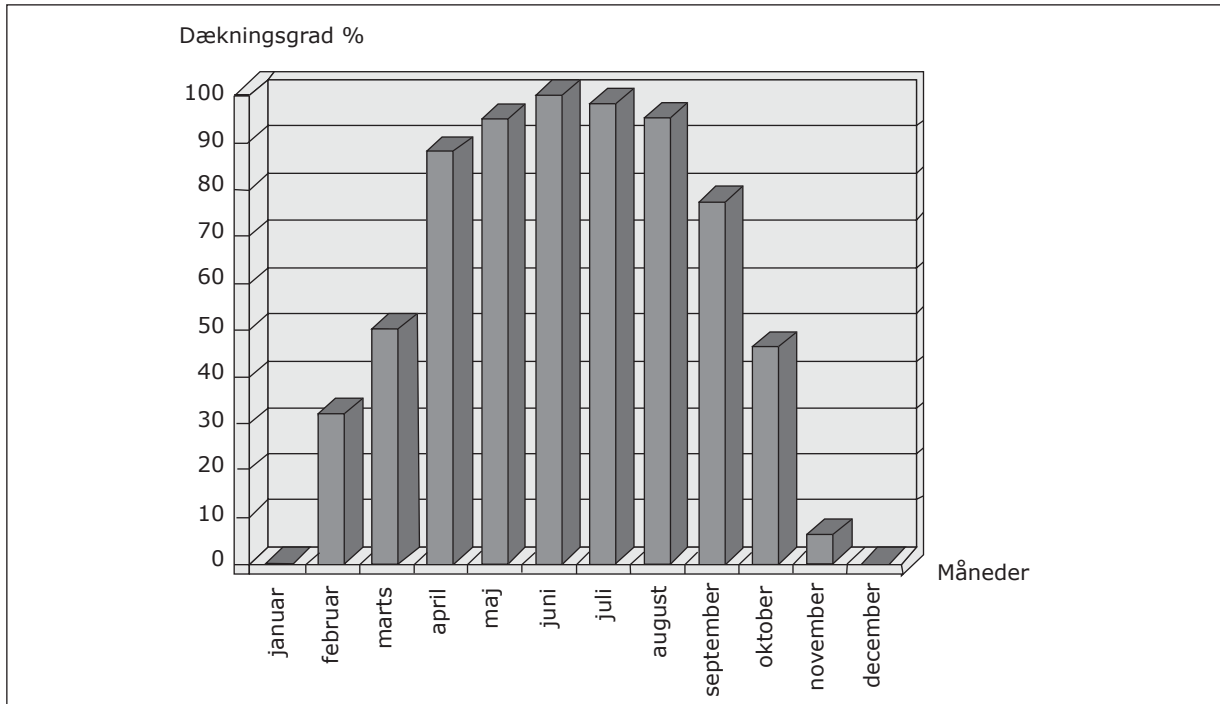
Som noget af det nyeste, er der kommet flere typer kombineret gaskedel med indbygget solvarmebeholder på markedet.

De sælges som pakkeløsninger til kunder, der ønsker at konvertere til naturgas.



Dækningsgrad

De fire sommermåneder kan forbruget af varmt vand dækkes næsten 100 % af et solvarmeanlæg.



Eksemplet viser forbruget af brugsvand i kWh for en familie på fire personer samt ydelsen i kWh fra en 4,8 m² solfanger.

I Danmark er der stor forskel på solfangeres sommer- og vinterydelse.

Måned	Brugsvandsforbrug	Nettoydelse	Dækningsgrad i %
Januar	227	0	0
Februar	205	65	32
Marts	227	113	50
April	220	193	88
Maj	227	216	95
Juni	220	220	100
Juli	227	222	98
August	227	216	95
September	220	170	77
Oktober	227	105	46
November	220	12	6
December	227	0	0
Året i alt	2674	1532	57

Brugsvandsforbrug og ydelsen er oplyst i kWh.



Placering og montering af solfangere

Ved placering af solfangere i tilknytning til bygningens tag er det nødvendigt at sikre, at der byggeteknisk ikke er risiko for:

1. Vandindtrængen gennem taget.
2. Fugtskader på grund af solfangervæske fra en utæt absorber.
3. Kondens i konstruktionen.

Den mest almindelige placering for solfangere er ovenpå en eksisterende sydvendt tagflade. Den største fordel ved denne placering er, at en utæthed i solfangeren ikke giver fugtskader.

Problemerne ved denne placering er inddækning af befæstigelse og rørgennemføringer, der skal udføres helt vandtætte.

Ved flade tage kan solfangerne monteres på stativ. Hvis ikke der er mulighed for placering af solfangerne på taget, kan det også blive aktuelt at placere solfangerne på garagetag eller på jorden.

I disse tilfælde vil der også kunne anvendes stativ. Utætheder i flade tage kan være en kostbar affære, der skal derfor udvises stor forsigtighed ved fastgørelse af solfangere og rørgennemføringer i flade tage.

Ved nybyggeri er der lavet forskellige tagintegrerede solfangere, hvilket vil sige at solfangeren er indbygget i taget.

Der opnåes dog ikke de store besparelser ved denne anlægsudformning, og en utæthed i solfangeren er mere kritisk end ved solfangerne placeret på taget.

Ved at montere solfangerne 25 - 50 mm over tag, sikres frit afløb af vand, blade og lignende.

Korrosion

Solfangere samt monteringsmateriale skal være omhyggeligt beskyttet mod korrosion.

Der skal tages hensyn til korrosionsfaren ved valg af materialer. Forskellige metaller kan adskilles ved hjælp af underlagsskiver af plast eller neoprengummi.

Der kan opstå korrosion ved f.eks. stål i kontakt med aluminium eller galvaniserede skrue i kontakt med aluminium.

Belastninger

Solfangere er lette konstruktioner og må som sådan sikres mod sug ved en effektiv fastgørelse til tagkonstruktionen.

For solfangere monteret på stativ på flade tage skal der tages særlig hensyn til vindpåvirkningen. Solfangerens vægt er sjældent et problem, den vejer 10 - 25 kg/m².

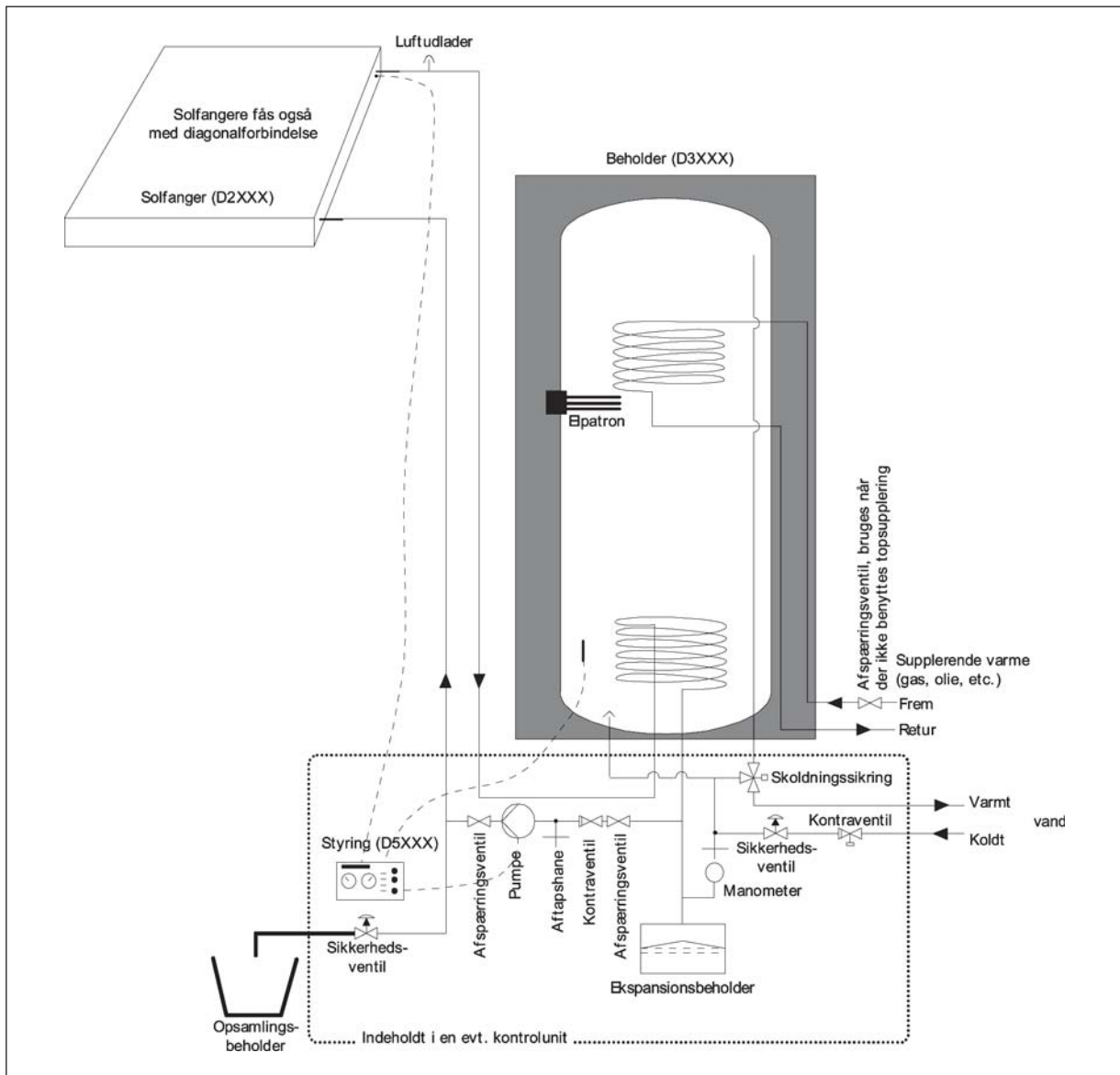
I det følgende er detaljeret gennemgået tagfastgørelse med en monteringsskinne på et bølgeeternittag.



Systemudformning

Pumpedrevet brugsvandsanlæg

Det mest almindelige solvarmeanlæg i Danmark er det pumpedrevne brugsvandsanlæg. På figuren herunder er anlægsudformningen vist for et almindeligt anlæg.



Principskitse, lowflow brugsvandsanlæg, lukket ekspansion

Solvarmeanlægget består af solfanger, opretstående lagertank med el-patron, bundspiral for tilslutning til solvarme, topspiral for tilslutning til centralvarmeanlægget samt herudover et rørsystem, en pumpe og automatisk styring.

Når temperaturen i solfangeren overstiger temperaturen i bunden af lagertanken starter

pumpen - og varmeenergien overføres fra solfangeren til lagertanken. Varmeoverføringen sker gennem en spiral i bunden af lagertanken eller en kappe udenpå den nederste del af beholderen.

Det kolde brugsvand tilføres i bunden af lagertanken, mens det varme tages fra toppen af lagertanken.



Solvarme

Kappebeholderen anvendes i forbindelse med lowflowanlæg, mens lagertank med spiral oftest anvendes i almindelige solvarmeanlæg.

Lowflowanlæg adskiller sig fra almindelige anlæg ved en mindre gennemstrømningshastighed på væsken i solvarmekredsen og et varmeoverførende areal, der går højere op i tanken.

Ved sommerdrift (udenfor fyringssæsonen) anvendes den øverste spiral ikke. Når solvarmen ikke kan levere den nødvendige energi suppleres med el-patronen.

Ved vinterdrift (i fyringssæsonen) slukkes el-patronen og solvarmen suppleres fra centralvarmen i den øverste spiral.

Ved naturgaskedler med lille vandindhold kan det ofte bedre betale sig at lade gaskedlen supplere hele året, og undlade at tilslutte el-patronen.

Ved el-opvarmning tilsluttes den øverste spiral ikke, eller der anvendes en lagertank uden topspiral. Her vil el-patronen være tilsluttet hele året.



PRINCIPDIAGRAM FOR SOLVARME-ANLÆG TIL OPVARMNING AF BRUGSVAND OG RUMVARME UDEN VARMTVANDSPRIORITERING ANLÆG MED COMBITANK

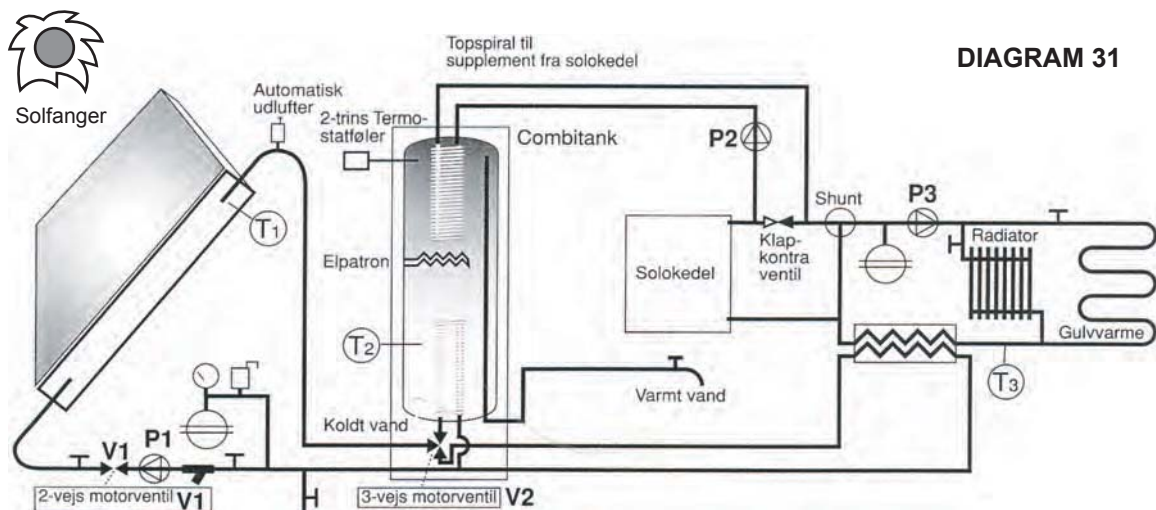


DIAGRAM 31

Funktion:

Vinterdrift:

Oliefyret er tændt. Varme tilføres som ved sommerdrift. Elpatronen er slukket og varmesupplementet kommer nu fra oliefyret gennem varmeveksleren i toppen af combitanken. Lagdelingen i lagertanken sikrer, at kun den øverste del af tanken opvarmes af oliefyret. Det kolde vand forvarmes således af solvarmen gennem den nederste veksler hele året.

Sommerdrift:

Kedlen er slukket. Varme tilføres lagertanken fra solfangeren, når der er varmere i solfangeren end i lagertanken. Når temperaturen i lagertanken når 50° grader (kan stilles valgfrit) omstøres 3-vejs ventilen V2 i solfangerkredsen, og al overskudsvarmen tilføres centralvarmesystemet. Forbruges der vand i lagertanken skifter systemet tilbage til denne igen. Falder temperaturen yderligere i lagertanken supplerer elpatronen på det varme brugsvand. Kan der ikke garanteres cirkulation på anlægskredsen i sommerperioden - enten gennem radiator uden termostatisk blandeventil eller gennem gulvslange - skal der monteres by-pass ved fjerneste radiator.

NB: Shunten skal altid stå lidt åben!



Driftserfaringer

I det følgende bliver der givet en række indhøstede driftserfaringer, som kan være til nytte dels ved solvarmeanlæggets projektering og dels sikre en tilfredsstillende daglig drift.

Væsketab og overkogning

Væsketab og overkogning er hyppige, men unødvendige driftsproblemer på solvarmeanlæg.

Væsketab medfører ofte, at anlæg i lange perioder ikke yder det forventede, hvormed det er olie, gas eller el, der leverer den nødvendige energimængde.

Årsagerne til væsketab og overkogning kan være:

- Utilstrækkelig ekspansionsbeholder.
- Utilstrækkelig fortryk.
- Utilstrækkelig udluftning.

Følerplacering

Pumpen i solfangerkredsen styres normalt af en differenstermostat med en føler i solfangerens fremløb og en føler i lagertanken. Placeringen af følerne er afgørende for solvarmeanlæggets ydeevne.

Føleren i solfangerens fremløb bør have direkte kontakt med væsken/absorber-pladen, og den bør være velisoleret. Føleren i lagertanken bør anbringes lavt i tanken - bedst på det sted, hvor varmen overføres fra solfangerkreds til lagertank.

Kondens i solfangeren

Mange solvarmeanlæg har kondens på indersiden af dæklaget, mest udpræget på dæklagets nedre del. For at undgå kondensation kan man bore nogle små huller i solfangerens ramme mellem dæk lag og absorber, både foroven og forneden.

Som et led i delprojektet »Konstruktion og test af solvarmeanlæg« bliver det i øjeblikket undersøgt, hvor kraftig en ventilation, der bør foretages af solfangeren.

Kontraventil

Ved anlæg med pumpecirkulation bør anvendes en fjederbelastet kontraventil i solfangerkredsen.

Ved anlæg med en skoldningssikring (udført ved, at det varme vand fra lagertanken spædes op med koldt vand, såfremt temperaturen af det varme vand overstiger 60 °C) bør der ligeledes anbringes en fjederbelastet kontraventil på koldt vandsgangen for at hindre selvcirkulation fra toppen af lagertanken, gennem skoldningssikringen og til bunden af lagertanken.

Vandforsyning

Alt arbejde med koldt og varmt brugsvandsanlæg skal udføres af en autoriseret gas-, vand- og sanitetsmester, der har autorisation i den pågældende kommune.

Projektet skal indsendes til godkendelse i Vandforsyningen af den autoriserede gas, vand og sanitetsmester. Varmeanlægget kræver derimod ikke autorisation.

Frostvæske

I solfangerkredsen anvendes normalt en frostsikret væske, f.eks. propylenglycol. Ved brugsvandstanke må der kun anvendes væsker, godkendt af Miljømyndighederne, når der er enkelt adskillelse mellem solfangervæske og brugsvand.

På VA-godkendelsen for brugsvandstanke er der angivet, hvilke væsker der er godkendt.

Frostsikrede væsker betragtes som kemisk affald og må ikke ledes til kloak. Opsamlet frostsikret væske skal afleveres på en kommunal opsamlingsplads.

Placering af solfangeren

Servitutter på grunden samt facadecensur, der omfatter en godkendelse af bygninger ud fra en arkitektonisk vurdering kan vanskeliggøre anvendelse af solfangere.

På nuværende tidspunkt er der ikke generelle regler for anvendelse af solvarmeanlæg for hele landet, og godkendelsen ligger derfor hos kommunen.



Solvarme

Sikkerhedskrav

Solvarmeanlægget bør udføres i overensstemmelse med Arbejdstilsynets vejledning for tekniske hjælpemidler B.4.8., idet solfangeren da erstatter kedlen i anlægget - dog kan anlægget ikke udstyres med overkogssikring for solfangeren. Anlægget betragtes som et mindre lukket anlæg med åbningstryk op til 6 bar.

Afløb fra solfangerkreds

I forbindelse med tømning eller overkogning af solvarmeanlægget må det sikres, at frostvæske ikke tilføres kloaksystemet, men opsamles i en passende beholder.

El-installationer

El-installationer må kun udføres af en autoriseret el-installatør, samt af andre med den fornødne kendskab, jævnfør Lov om autorisation af elinstallatør og Stærkstrømsreglementet.



Dimensionering

Belastning

Usikkerhedsmomentet er størst ved bedømmelse af varmtvandsforbruget. Varmtvandsforbruget er den faktor, der bestemmer belastningen af solfangeren.

Ved stort varmtvandsforbrug pr. m² solfanger bliver produktionen pr. m² høj, mens temperaturniveauet bliver lavere. Hvilket giver en god udnyttelse af solfangeren

Ved lille varmtvandsforbrug pr. m² solfanger bliver produktionen lav, mens temperaturniveauet bliver højt. Hvilket giver en dårlig udnyttelse af solfangeren

Brugsvandsanlæg

Ved dimensionering af et solvarmeanlæg er det nødvendigt at have kendskab til det energiforbrug solvarmeanlægget skal dække.

Ved små brugsvandsanlæg tilstræbes en dækningsgrad tæt på 100 % af energiforbruget til varmt vand udenfor fyringssæsonen.

Dette svare til en årlig dækningsgrad på ca. 60 % af energiforbruget til varmt vand. Herved bliver der mulighed for at slukke for fyret udenfor fyringssæsonen og derved opnå en væsentligt energibesparelse på ca. det nuværende olie/el/gasforbrug i de fire sommert måneder.

Dimensioeringsgrundlag

Det gennemsnitlige varmtvandsforbrug er 40 - 50 liter varmt vand pr. person pr. dag. Dette tal kan dog variere fra 25 til 75 liter.

Det er de færreste forbrugere der kender deres varmtvandsforbrug. Dette forbrug må derfor fastlægges inden anlægget kan dimensioneres.

Da anlægget skal holde i 15 til 20 år, vil forbruget derfor ændre sig og det kan derfor være svært at bestemme forbruget af det varme vand.

Det daglige varmtvandsforbrug anslås til ca. 40 liter/døgn/person opvarmet fra 10 til 45 °C

Med fire personer giver det 160 liter ~ 0,16 m³ - der opvarmes 35 °C.

Årligt energiforbrug

Det årligt energiforbrug beregnes efter formelen $m^3 \times 365 \times \Delta t \times 1,16$

$m^3 =$ varmtvandsforbruget pr. døgn

$\Delta t =$ temperaturforskellen på det kolde og det varme vand

1,16 = Faktortallet for at omregne til kWh

Den årlige ydelse bliver så $0,16 \times 35 \times 1,16 \times 365 = 2371 \text{ kWh/år}$.

Med den dækningsgrad på 60 % skal solfangerens nettoproduktion være 60 % af $2371 \text{ kWh} = 1423 \text{ kWh/år}$.

Hvis solvarmeanlægget skal dække andre former for varmtvandsforbrug er det nødvendigt at fastlægge et andet varmtvandsforbrug end de 40 liter/døgn/person og evt. en anden opvarmningstemperatur end de 45°.



Solvarme

Korrektion for orientering og hældning

Figuren herunder viser indflydelsen af solfangerens orientering og hældning. Tallene i figuren angiver reduktionsfaktor for solfangerens dækningsgrad.

Brugsvandsanlæg

Orientering	Syd	Syd $\pm 22,5^\circ$	Syd $\pm 45^\circ$	Syd $\pm 77,5^\circ$	Syd $\pm 90^\circ$
Hældning 15°	0,91	0,90	0,89	0,86	0,82
Hældning 30°	0,96	0,95	0,92	0,88	0,82
Hældning 45°	1,00	0,98	0,95	0,90	0,81
Hældning 60°	1,01	0,99	0,96	0,89	0,79
Hældning 75°	0,98	0,96	0,93	0,86	0,75
Hældning 90°	0,91	0,89	0,85	0,78	0,69

Reduktionsfaktor som funktion af solfangerens orientering og hældning. Se også skema med illustrationer i bilag. Brugsvandsanlæg.

Korrektion for afstanden fra solfanger til lagertank

Herunder er angivet reduktionsfaktoren for forskellige afstande mellem solfanger og lagertank.

	Afstand fra solfanger til lagertank (m)				
	5	10	15	20	25
Reduktionsfaktor	1,00	0,98	0,96	0,93	0,90

Korrektion for cirkulation af det varme brugsvand

Hvor meget energi der bruges til cirkulation af det varme brugsvand varierer meget.

Ved anlæg med cirkulation på det varme brugsvand er der fare for, at cirkulationen ødelægger temperaturlagdelingen i lagertanken og dermed nedsætter solvarmeanlæggets ydelse.

Der bør ved solvarmeanlæg ikke være cirkulation på det varme brugsvand. Hvis brugsvandscirkulation ikke kan undgås må det sikres, at det ikke medfører en opblanding af koldt og varmt vand i lagertanken.

Dette gøres ved ikke at tilslutte cirkulationen til et rør der løber fra bunden af beholderen og til toppen inden i beholderen, men tilslutte den over topspiralen og med en indløbsstuds som forstyrrer mindst muligt i beholderen.

Det må for hver enkelt anlæg vurderes hvilket ekstra varmebehov der skal dækkes på grund af cirkulationen.

Som retningslinje kan skemaet nedenfor anvendes (enfamiliehus med 30 m cirkulationsledning og en 280 liter varmtvandsbeholder).

Drift af cirkulationsledning	Dækningsgrad
Klokkeslæt	%
Hele tiden	42
7 til 23	46
7 til 9, 16 til 23	50
Ingen	60



Kombinerede brugsvands- og rumvarmeanlæg

Denne type anlæg er velegnet, hvor der er et opvarmningsbehov i sommerperioden. Det anvendes ofte i forbindelse med gulvvarme eller badeværelser, hvor det er et komfortbehov der opfyldes.

Hvis anlægget skal bruges til at supplere rumopvarmningen forår og efterår er det vigtigt med så store varmeflader som muligt - eller allerbedst gulvvarmeanlæg.

Den årlige dækningsgrad skal være mellem 15 - 25 %. Da solfangeren ellers vil blive for stor om sommeren.

Korrektion for orientering og hældning

Figuren herunder viser indflydelsen af solfangerens orientering og hældning. Tallene i figuren angiver den relative ændring af dækningsgraden.

Orientering	Syd	Syd ±22,5°	Syd ±45°	Syd ±77,5°	Syd ±90°
Hældning 15°	0,84	0,82	0,77	0,76	0,72
Hældning 30°	0,94	0,92	0,87	0,80	0,72
Hældning 45°	1,00	0,98	0,91	0,81	0,71
Hældning 60°	1,01	1,00	0,92	0,81	0,67
Hældning 75°	0,98	0,98	0,90	0,77	0,65
Hældning 90°	0,91	0,90	0,81	0,71	0,59

Kombinerede brugsvands- og rumvarmeanlæg

Ydelsen som funktion af solfangerens orientering og hældning.

Korrektion for varmeanlæggets dimensioneringstilstand

Solvarmeanlæggets ydelse er afhængig af hvilken temperatur opvarmningssystemet opererer ved, jo lavere temperatur jo større ydelse.

Varmeanlæggets dimensioneringstilstand	$t_{\text{frem}} / t_{\text{retur}}$	Relativ dækningsgrad
Små radiatorer	90 / 70°C	0,80
Store radiatorer	60 / 40°C	1,00
Gulvvarmeanlæg	35 / 30°C	1,12

Korrektion for afstanden fra solfanger til lagertank

Som ved dimensionering af brugsvandsanlæg.

Korrektion for cirkulation af det varme brugsvand

Som ved dimensionering af brugsvandsanlæg.



Miljøbesparelser ved solvarme

Udslip ved forbrænding

Ved al forbrænding dannes der CO₂. Når det er biobrændsel, der forbrændes, bruges der en tilsvarende mængde CO₂, når nyt halm eller træ vokser op. Der ydes således ikke noget bidrag til drivhuseffekten med denne CO₂.

Anderledes er det, når der er tale om forbrænding af fossile brændsler som kul, olie og gas. Det bliver ikke gendannet til næste år, men CO₂-udledningen fra denne forbrænding bidrager til dannelse af drivhuseffekten.

Ved forbrændingen dannes der også SO₂ og NO_xer og der sendes en del partikler ud i atmosfæren.

Varme fra solen giver hverken NO_x- SO₂ eller CO₂-udledning, dog bruges der lidt strøm til pumpe og styring, typisk omkring 5 % af den leverede energi. Forureningen fra pumpestrømmen kan undgås ved at lave selvcirkulerende anlæg, men dette er ofte vanskeligt i praksis.

Miljøbesparelse med solvarme

En husstand på 4 personer vil normalt bruge 3000 kWh pr. år til det varme brugsvand, heraf vil et passende solvarmeanlæg kunne erstatte de 2000 kWh.

Hvis varmekilden er olie- eller gaskedel, opnås desuden et stort sparet tomgangstab, ved at kedlen kan slukkes i 4 - 5 sommermåneder uden for fyringssæsonen.

Ved oliefyr er der, afhængig af fyrets tilstand, tale om sparet tomgangstab på 140 - 290 l olie pr. år eller endnu mere ved en dårligt isoleret kedel plus 285 l sparet til selve opvarmningen af brugsvandet.

Ved elvandvarmer er det oftest kul brændt af ved en virkningsgrad på mindre end 40 %, der erstattes af solvarmen, og her opnås den største miljøgevinst.

Opvarmningsform	Brændsel	SO ₂ kg	NO _x kg	CO ₂ kg
Elvandvarmer 2000 kWh spares	kul	14	9,5	1860
Nyere oliefyr 425 l spares	olie	1,9	2,2	1600
Gl. oliefyr 600 l spares	olie	2,7	3,1	2300
Naturgasfyr 285 m ³ spares	naturgas	0	2,1	800

Miljøbesparelse ved solvarmeanlæg til brugsvand til fire personer - rørføring til solfanger



Trykekspansion

Til trykekspansion anvendes enten en standard trykekspansionsbeholder med manometer, udluftning og sikkerhedsventiler, eller et ekspansionsystem der er sammenbygget som beskrevet nedenfor.

Hvis ekspansionsystemet sammenbygges af enkeltdele skal følgende krav være opfyldt for de enkelte komponenter:

Sikkerhedsventil:

Beskrevet herunder

Udluftning:

Skal kunne tåle påvirkninger fra temperaturer på over 120 °C.

Manometer:

Skal være let aflæseligt og med markering af sikkerhedsventilens åbningstryk samt kunne tåle høje temperaturer

Tryk-, temperatur- og udvidelsesforhold i anlægget

Tryk og temperaturforholdene i anlægget er afhængig af koncentrationen af frostvæske i anlægget og er angivet i nedenstående tabel.

Tryk og temperaturforhold i solvarmeanlæg				
Koncentration %	Frysepunkt °C	Kogepunkt afhængigt af tryk		
		0 bar	1,5 bar	2,5 bar
		°C	°C	°C
0	0	100	128	139
30	-13	103	130	141
40	-21	104	131	143
50	-32	106	133	145

Volumenudvidelsen for rent vand, og en blanding af vand og propylenglycol er ikke ens, hvilket det er nødvendigt at tage hensyn til ved beregning af ekspansionsbeholderen til solvarmeanlægget.

På efterfølgende kurver er angivet volumenudvidelsen for rent vand, og vand/glycolblanding (60%/40%) hvor volumenudvidelsen er angivet i forhold til temperaturen.



Solvarme

Dimensionering af trykeksponation

Trykeksponationsbeholdere kan dimensioneres efter Arbejdstilsynets vejledning for tekniske hjælpemidler B.4.8., eller efter BPS-formel til solvarmeanlæg, hvor der tages hensyn til væskeudvidelsen samt ekspansionsbeholderens virkningsgrad.

Beholderens fortryk (fyldningstryk) i bar skal være mindst lig med en tiendedel af den lodrette afstand i meter fra anlæggets højeste punkt.

Dimensionering efter formelen til solvarmeanlæg

For anlæg der indeholder en vand glycol-blanding på 40 % angives i BPS-kataloget, at formelen efter arbejdstilsynets regler bør hedde:

$$V_E = \frac{(0,14 \times t - 2,5)(P + 1)}{100 \times (P - p)} \times V_S$$

Eksempel

Ekspansionsbeholderen skal, ved indsættelse af nedenstående forudsætninger i formelen, dimensioneres svarende til et volumen på ca. 30 % af det samlede væskevolumen der er i solfangerkredsen.

$$V_E = \frac{(0,14 \times 143 - 2,5)(2,5 + 1)}{100 \times (2,5 - 0,5)} = 0,30$$

$$V_E = V_S \times 0,30$$

Forudsætningerne for ovenstående er følgende forhold:

- VE: Ekspansionsbeholderens volumen
- 0,14: Er en konstant der tager hensyn til den større udvidelse af solfangervæsken
- VS: Solfangerkredsens væskeindhold
- t: Temperatur hvor sikkerhedsventil åbner er 143 °C
- P: Sikkerhedsventilens åbningstryk er 2,5 bar
- p: Ekspansionsbeholderens fortryk er 0,5 bar

Rørføring

Rørene skal føres så der er mindst mulighed for at der kan dannes luftlommer. Alle steder hvor der er risiko for luftlommer, skal der anbringes luftpotter med luftskruer eller automatiske luftudladere.

Placering af udluftninger

Der skal altid anbringes en udluftning eller en automatisk luftudlader på afgangsrøret i toppen af solfangeren.

Automatiske luftudladere skal kunne klare de temperaturer de udsættes for uden at der sker materialebrud eller deformationer.

Frostsikring

Solfangervæsken opblandes i nedenstående forhold afhængig af hvor lav temperatur man ønsker at sikre til, idet der dog skal sikres til en temperatur på min. ca. -20 °C.

Et blandingsforhold på 60 / 40 anbefales.

Blandingsforhold	Sikrer ned til
60 % vand / 40 % glycol	- 21 °C
50 % vand / 50 % glycol	- 32 °C

Påfyldning af væske

Der bør altid anvendes den væske der anbefales af fabrikanten. Solfangervæsken og vandet skal blandes grundigt inden påfyldning i solfangerkredsen.

Væsken pumpes ind i anlægget gennem en påfyldningsstuds enten ved hjælp af en trykspand eller en transportabel pumpe.

Ved påfyldningen skal man sørge for at alle ventiler er åbne.

Der må ikke påfyldes væske på anlægget i høj solskin, idet temperaturen i solfangeren vil være så høj at væsken fordamper lige så hurtigt som den påfyldes.

Efter påfyldning af anlægget skal det udluftes, hvorefter der påfyldes væske til anlægget opnår det anbefalede drifttryk. Dette indstilles om muligt på manometerets faste viser sammen med max. og min. drifttryk.

Hvis solen ikke skinner ved opstarten af anlægget skal pumpen tvangsstartes og derefter køre et stykke tid. Efter at anlægget har kørt et stykke tid vil der ofte være opsamlet snavs i snavssamlere, der skal renses inden afleveringen af anlægget.

Til kontrol af frostsikring bruges et refraktometer.



Solvarme

Opsamlingsbeholder

Væske der presses ud af sikkerhedsventilen skal opsamles i en beholder der er stor nok til at rumme den.

Det vil maksimalt være den væskemængde, der er i solfangeren samt rør over solfangerens nederste kant. Væsken genbruges, eller bortskaffes i henhold til »Bekendtgørelse om bortskaffelse af kemikalieaffald«.

Væske der har været udsat for kogning kan være omdannet til syre, og skal derfor kontrolleres ved hjælp af f.eks. lakmuspapir inden genanvendelse, da der ellers vil kunne ske tæring på anlægget. Det bør endvidere kontrolleres at frostsikringen stadig virker.

Hvor taget er af teglsten kan det være en mulighed at anvende tudtagsten til rørgennemføringen.

Hvor tagbeklædningen er tagpap henvises til BPS detaljer (56)5.94 5111 og 5112 /1/ eller anvisninger fra tagpapbranchen.

Sikkerhedsforhold

Max. temperatur på overflader

Overfladetemperaturen på de enkelte anlægsdele må ikke overstige 65 °C på grund af skoldningsfare. Hvis anlægget er isoleret i henhold til DS 452 regnes dette for at være opfyldt.

Brand, bl.a. overfladetemperatur (BR08) mv.

Varmeafgivelsen fra anlægsdele må i henhold til bygningsreglementet ikke give anledning til højere overfladetemperaturer end 80 °C på brandbart materiale.

Rørgennemføringer i tag

Rørene føres gennem tagflade med bølgeplader eller tagsten og kan fuges med en egnet silikone, der bl.a. skal kunne tåle de temperaturer den udsættes for, hvilket normalt vil betyde temperaturer på op til 140 °C - samt de ekspansionsbevægelser der vil kunne opstå.

Det er endvidere vigtigt at fugestedet er omhyggeligt rengjort. Erfaringsgrundlaget siger på nuværende tidspunkt ikke noget om, hvor længe gennemføringer tætnet med silikone kan holde, men erfaringer på området vil løbende blive fulgt op.

Der kan endvidere anvendes en gennemføringsbøsning der sikrer at gennemføringen er tæt som f.eks. angivet på BPS detalje (56)5.94 5121 /1/ eller ved anvendelse af en »August« manchete.

Hvor taget er bølgeformet skal rørgennemføringen foretages nær toppen af bølgerne.



Loftrum og skunkrum

Hvor rørene føres gennem loft- eller skunkrum skal de fastgøres forsvarligt med rørbæringer, og det skal sikres at der ikke bliver lunke på rørene - samt at de har stigning mod solfangeren.

Rørbæringerne bør være placeret med en afstand som angivet i nedenstående tabel.

Bæringsafstand					
Stålrør		Kobberrør		Plastrør *)	
Dimension	Afstand [m]	Dimension	Afstand [m]	Dimension	Afstand [m]
1/2"	1,93	12	1,17	$d_u < 20$	0,3
3/4"	2,04	15	1,28	$20 < d_u < 25$	0,4
1"	2,18	18	1,38		
		22	1,52		
		28	1,73		

*Plastrør bør normalt altid oplægges i skinne eller lignende, der sikrer røret i hele længden.

Ekspansion

På længere rørstrækninger skal der sikres tilstrækkelig ekspansionsmulighed for rørinstallationen.

Tilstrækkelig ekspansion sikres bl.a. ved at der ikke anbringes fastspændinger i form af rørbæringer, i retningsændringer og lignende.

Længdeudvidelsen pr. meter rør er angivet i nedenstående tabel.

Længdeudvidelse [mm/m]			
Temperaturstigning [°C]	Stålrør	Kobberrør	PEX-rør
50	0,48	0,66	7,2
100	1,08	1,49	16,2
120	1,32	1,83	19,8

Materialer

Stålrør

Ved valg af stålrør skal der anvendes sorte rør, idet frostvæsken kan opløse zinken på galvaniserede stålrør, hvilket kan medføre tilstopning af pumper, snavsfilter mv.

Det anbefales at benytte overfladebeskyttede rør, især under lagertanken.

Bløde tyndvæggede stålrør

Bløde tyndvæggede stålrør er lette at arbejde med på samme måde som bløde kobberrør, og fås i længder på op til 25 meter. Det anbefales at benytte overfladebeskyttede rør, især under lagertanken.

Kobberrør

Kobberrør er modstandsdygtige over for korrosionsangreb og er enkle at arbejde med.



Solvarme

PEX-rør

Hvis der anvendes PEX-rør skal disse kunne holde til 2,5 bar og den temperatur de udsættes for, hvilket kan være op til 140 °C ved 2,5 bars tryk.

Visse typer af PEX-rør er ikke udført med ilt-diffusions-spærre, og bør derfor kun anvendes, hvis de øvrige dele af anlægget er udført af korrosionsfaste materialer.

Visse typer af PEX-rør med diffusionsspærre kan ikke holde til et tryk på 2,5 bar ved høje temperaturer.

PEX-rør til rørsystemet kan anvendes afhængigt af solfanger- og varmevekslermaterialet ud fra følgende forudsætninger:

- Såfremt varmeveksleren er af ubehandlet stål kan der kun anvendes PEX-rør der har ilt-diffusionsspærre.
- Såfremt varmeveksleren er af rustfrit stål, kobber eller med indvendig emaljering kan PEX-rør uden ilt-diffusionsspærre anvendes.

Polypropylen-rør

Polypropylen-rør kan anvendes i forbindelse med åben ekspansion, hvor anlægget ikke er under tryk.

Isolering

Isoleringsmaterialer

Rørledningerne i solvarmekredsen skal isoleres med et rør-isoleringsmateriale klasse 1, der er i stand til at tåle den temperatur den udsættes for kortvarigt, hvilket kan være op til 140 °C.

Følgende materialetyper kan normalt klare dette krav:

- Mineraluld.
- Opblæret syntetisk gummi (HT Armaflex), kan kun anvendes på rørstrækninger med en temperatur op til 175 °C.

Visse isoleringsmaterialer af polyethylenskum vil ikke kunne klare ovenstående krav - og bør derfor ikke anvendes.

Især ved rørstrækningerne tæt på solfangeren, skal man være opmærksom på muligheden for høje temperaturer.

Der kan være særlige forhold, der medfører mindre isolering. For eksempel kan anvendes uisolerede tomrør på fremløb til solfanger. Dette gøres for eksempel, for at undgå høje tempe

Præisolerede rør

Præisolerede rør som f.eks. WICU-extra Danmark opfylder kravene til isoleringsklasse 1, og vil kunne anvendes uden ekstraisolering.

Det kan dog være nødvendigt at forespørge fabrikanten om isoleringsmaterialet kan tåle de temperaturer det udsættes for (driftstemperatur kortvarig (8 timer) 120 °C max temperatur 100 °C).

Udførelse af isolering

Såfremt der anvendes mineraluldsisolering udendørs skal der afdækkes mod vejrlig, f.eks. ved anvendelse af kapperør, aluminiumskapper eller tilsvarende.

Gummi bør kun anvendes udendørs hvis det er beskyttet mod solens UV-bestråling og regn.

Isolering af brugsvandssystem

Isolering af brugsvandssystemet skal udføres efter isoleringsnormens klasse 2 eller 3 afhængig af om der er cirkulation på anlægget.

Som en regel kan det siges at installationer uden cirkulation isoleres efter klasse 2 og installationer med cirkulation isoleres efter klasse 3.



Kvalitetssikringsordning for installation af solvarme

Der blev i 1993 indført en kvalitetssikringsordning. Det betyder at solvarmeinstallatører kan få udstedt et certifikat og at firmaet kan tilmelde sig en kvalitetssikringsordning efter nærmere fastsatte regler. Der er udarbejdet et logo for at synliggøre ordningen, f.eks. i annoncer.

Kvalitetssikringsordningen er godkendt af følgende organisationer:

- TEKNIQ - Dansk VVS
- Dansk Smedemesterforening
- Solfangerfabrikantforeningen
- Blik- og Rørarbejderarbejderforbundet



- Dansk Metalarbejderforbund

Ordningen tilbydes virksomheder, der installerer mindre solvarmeanlæg. Optagelse i ordningen forudsætter at:

- Der anvendes et godkendt kvalitetsstyringsystem
- Mindst en person i virksomheden har solvarmecertifikat
- Installationerne anmeldes til en efterkontrolordning
- Køberne tilbydes et serviceabonnement

For at få certifikatet kan man bl.a. deltage i et 3-dages solvarmekursus på teknisk skole. Man skal bestå den afsluttende prøve.

Kvalitetssikringsordningen består af fire elementer:

- Dokumentation af selve solvarmeanlægget. Denne laves af fabrikanten og sendes ud med hvert anlæg sammen med installations- og brugervejledning. På den ene side er der en tegning af solvarmeanlægget og her skal montøren tegne tilkoblingen til det eksisterende varmeanlæg med eventuelle ventiler, varmtvandsprioritering og lignende.
- Afleveringsattest. Denne skal udfyldes af montøren og beskriver installationen af anlægget. Attesten fås hos organisationen.
- Anmeldelse af anlægget til en efterkontrolordning, hvor Prøvestationen for Solenergi laver efterkontrol på en del af installationerne. Blanket hertil fås hos organisationen.
- Kunden skal tilbydes et serviceabonnement (men har selvfølgelig ikke pligt til at købe det) og der skal være en checkliste til en gennemgang af anlægget ved service.

Kvalitetssikringsordningen har siden 2002 været en frivillig ordning. Ordningen har sin egen hjemmeside med adressen:

- www.kso-ordning.dk

Her er der bl.a. et særligt område med dokumenter m.v. for medlemmerne af ordningen.

Vedvarende energi

Solvarme



Vedvarende energi

Biobrændsel

Brandteknisk Vejledning nr. 32 - udpluk

Vedr. fyringsanlæg

- Max. 80 °C på brændbart materiale.
- Gulvet skal være af (eller beklædt med) ubrændbart materiale under og rundt om kedlen: 300 mm fra kedlens sider, dog 500 mm fra kedlens forside (den side, hvor asken tages ud).
- Skorstene skal have en sådan udformning, lysningsareal og højde, at der bliver tilfredsstillende trækforhold og røgafkast. Balanceret aftræk fra kedler skal udføres, så røgafkastet ikke giver lugt- og sundhedsmæssige gener. Der skal være renseløkke.
- Der skal være en vandhane i fyrrummet. Hvis kedlens ydelse er mindre en 60 kW, kan en pulverlukker (mindst 5 kg) gøre det.
- Ildstedet skal kunne få tilstrækkelig luft til forbrændingen. Det kan opnås ved, at ildstedet installeres i et rum, der er forsynet med oplukkeligt vindue med reguleringsbeslag eller regulerbar luftventil fra det fri, eller ved at der tilføres forbrændingskammeret luft gennem en kanal fra det fri.
- Brændsel skal være rent træ eller andet biomateriale. Materialer med lim, maling, træbeskyttelse eller plast må der ikke fyres med. Miljømyndighederne har mulighed for påtale, hvis der er naboklager over røg- eller lugtgener.
- Brændselsmagasin er en beholder af stål med tætsluttende låg, der kan indeholde en begrænset mængde brændsel. Kan enten være monteret direkte på kedlen eller sammenkoblet med en stoker.
- Loftsoverflader skal udføres mindst som K1 10 B-s1,d0 (klasse 1) beklædning. Hvis loftsoverfladen er tagdækningens underside, skal tagdækningen være af ubrændbare materialer
- Vægbeklædning skal være mindst en K1 10 D-s2,d2 (klasse 2) beklædning
- Fyrrummet må ikke indeholde letantændelige materialer og brandfarlige væsker (undtagen olietank til oliefyr) og skal holdes ryddeligt. Gulvet skal holdes fri for spildt brændsel, støv og brændbart spild og affald fra andre aktiviteter i rummet. Gløder skal slukkes med vand og transporteres direkte til et sikkert opbevaringssted i det fri.

Bygningsreglement 2008

- udpluk

- Centralvarmekedler, små kraftvarmeanlæg, generatoranlæg, biobrændselsfyrede anlæg, brændeovne, pejse og andre fyringsanlæg skal udføres og installeres, så der ikke opstår fare for brand, eksplosion, forgiftning og sundhedsmæssige gener.
- Fyringsanlæg skal indrettes og opstilles, så de uden hindringer kan renses.
- Fyringsanlægget skal kunne få tilstrækkelig tilførsel af luft til forbrændingen.
- Fyringsanlæg skal indrettes, så der under normale driftsforhold hersker undertryk i fyringsanlæggets forbrændingsrum og røgkanaler i forhold til det rum, hvori fyringsanlægget er opstillet.
- Fyringsanlæg må ikke opstilles i rum med let antændeligt oplag uden tilfredsstillende brandmæssig adskillelse.



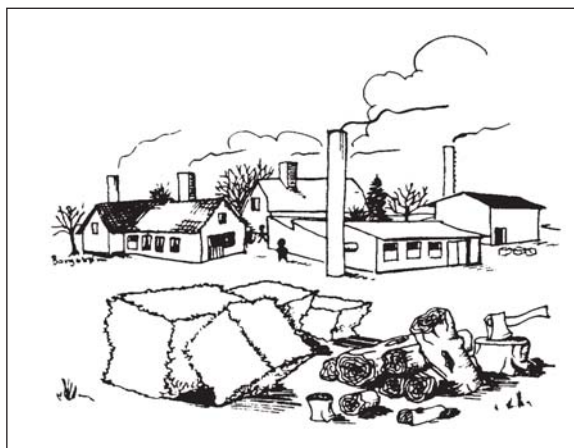
Installationer for fyring med halm og træ

Der tilbydes på markedet forskellige installationer, hvis formål er en sænkning af landets olieforbrug til opvarmning.

En del af disse henvender sig specielt til produktionsvirksomheder som skovbrug og landbrug. Hertil sælges f.eks. forskellige kedler, som værende egnede til fyring med halm eller træ.

I salgsbrochurer for disse kedler omtales ikke altid, at det er nødvendigt, dels at have kendskab til den korrekte fyringsteknik, og dels at have en kedeltype, som svarer til det brændsel, der bruges, samt en kedelstørrelse der passer til det normale forbrug.

Erfaringer fra de seneste års installationer viser, at der et generelt informationsbehov hos såvel brugere som installatører.



For at dække dette generelle behov for information om installationer for fyring med træ og halm, gennemgås i det følgende alle de områder, som indvirker på, om installationen bliver funktionsdygtig med et minimum af fyringsbesvær og miljøgener.

Også sikkerhedsforanstaltninger omtales, og der henvises til myndighedskrav og vejledninger.

Fyring med halm og træ

Ordet »fyring« tillægges i det efterfølgende ikke blot det, at skaffe sig af med brændslet ved afbrænding, men forudsætter en rimelig god udnyttelse af de energimængder, det indfyrede brændsel indeholder.

Halm og træ tilhører ligesom kul, gruppen af gasholdige brændsler. I modsætning til gasfattige brændsler som koks og cinders, der kun indeholder ca. 3 % flygtige brændbare stoffer, består 70 - 80 % af de brændbare stoffer i halm og træ af flygtige kulbrinter (gas og tjære).

Halm og træ indeholder ikke som kul og olie svovl, men træ indeholder f.eks. eddikesyre og garvesyre, så ved anvendelse af dette brændsel foreligger også risiko for tæring, hvis syre og vanddampe fra forbrænding eller brændsel kondenserer i fyringsinstallationer af jern og stål.

Halm kan indeholde op til 7 % askestoffer, mens rent træ indeholder mindre end 1 %. Ved halmfyring produceres der altså mere aske end ved træfyring.

Halm indeholder sjældent mere en 17 % vand, hvis halmen er bjærget kort tid efter kornets indhøstning - og hvis vejret ikke har været for regnfuldt. Skal det opbevares i længere tid, bør det dækkes af pressenning eller under tag.

Træ kan derimod indeholde over 100 % vand, når det er nyfældet. Ved ca. 1 års lagring i fritstående stabler med overdækning, vil træet indeholde ca. 20 % vand i forhold til total vægten. Dette vandindhold giver mulighed for rimelig nyttiggørelse af træbrændslet.

Under forbrændingen dannes vanddamp. Et brændsels nedre brændværdi udtrykker hvor meget varmeenergi 1 kg af brændslet frigiver ved forbrænding, når den ved forbrændingen producerede vanddamp ikke kondenserer. Det er normalt denne værdi der menes, når der tales om »brændværdi«.

Såvel askeindhold som vandindhold har en forringende virkning på brændværdien. Askeindholdets indvirken er dog relativt lille for træbrændsel, men stigende vandindhold forringer brændværdien meget kraftigt, da der bruges meget energi til fordampning af vandet.

Brændværdien er normalt ikke udtryk for hvor megen varmeenergi, man får frigivet til opvarmningsformål. Selve forbrændingen er ikke altid fuldstændig, og ikke al den frigivne varme optages af kedlen.

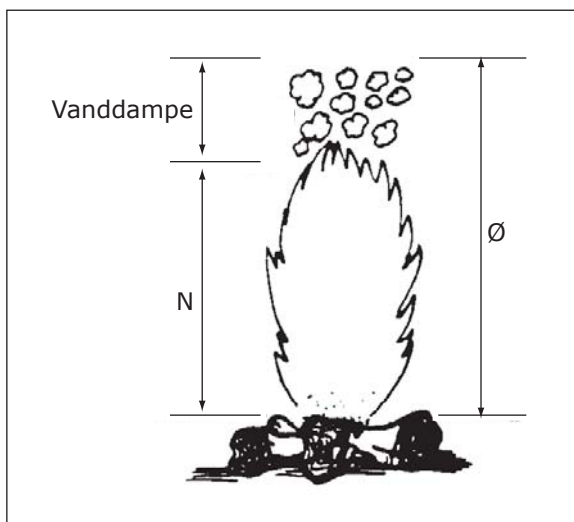
Vedvarende energi



Biobrændsel

Der suges mere luft igennem kedlen end hvad der teoretisk er brug for til forbrændingen. Af den varmeenergi kedlen optager, afgives uønsket en del igen til kedelrummet.

Disse samlede tab trukket fra det indfyrede brændsels samlede brændværdi giver kedelinstallationens nyttevirkning.



Brændværdier

\emptyset = Øvre teoretiske brændværdi inkl. vanddampe.
N = Nedre praktiske brændværdi excl. vanddampe.

Ældre forsøg udført på Teknologisk Institut viste, at nyttevirkningen ved fyring med halmballer i en god magasinkedel var ca. 55 % ved en kedelbelastning på ca. 7000 kcal pr. time pr. kvadratmeter hedeplade.

Nyttevirkningen faldt ved større eller mindre belastning. til 40 % ved en kedelbelastning på 1000 kcal pr. time pr. kvadratmeter hedeplade.

En stokerfyret kedel med byghalm skåret i hakkelse havde ved samme forsøg en nyttevirkning på lidt over 60 % ved kedelbelastning som oven for, ca. 7000 kcal/time x m².

Her faldt nyttevirkningen til ca. 55 % ved kedelbelastning henholdsvis 1.000 og 10.000 kcal/h x m². Nyttevirkningen kan altså anses for at være ca. 5 % højere (ca. 10 % bedre) for stokerfyrede kedler end for gode magasin-kedler.

Nedre brændværdi for halm kan ligge så højt som 3800 kcal/kg, men ligger normalt på ca. 3200 kcal/kg ved ca. 17 % vandindhold.

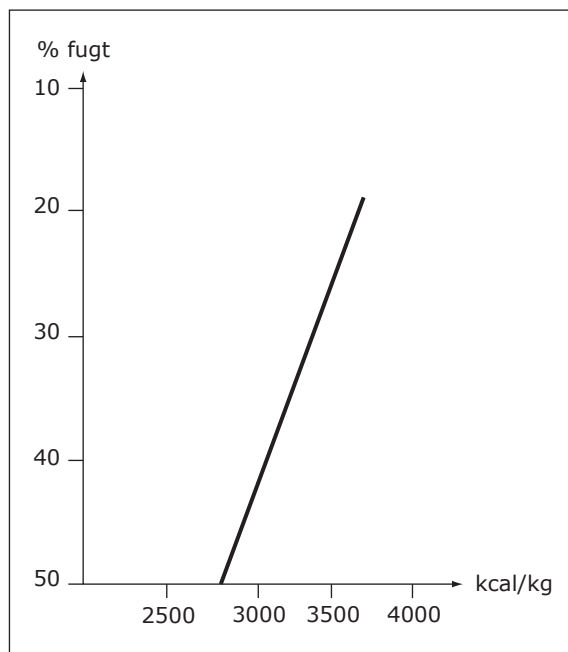
Nedre brændværdi for træ helt uden vand, kan variere mellem 4000 og 5000 kcal/kg.

Der regnes som middelværdi med 4500 kcal/kg og brændværdien for træ med fugtindhold kan udregnes efter en forenklet formel:

$$(4500 - 600 \times \mu) : (1 + \mu) \text{ kcal pr. kg fugtigt træ.}$$

I formlen betegner μ vandindholdet i % af træets tørvægt, og angives som 0,- f.eks. 20 % = 0,20.

Træ med 20 % fugtindhold har altså nedre brændværdi $(4500 - 600 \times 0,20) : (1 + 0,20) = 3650$ kcal pr. kg fugtigt træ - og træ med 50 % fugtindhold har nedre brændværdi $(4500 - 600 \times 0,50) : (1 + 0,50) = 2800$ kcal pr. kg fugtigt træ.



Som det ses, er brændværdien steget 30 %, når fugtindholdet falder fra 50 til 20 %. Der er altså god økonomi i at lagre træet, så det har et passende lavt fugtindhold ved indfyringen.

Rumvægten for halm er 100 - 120 kg. pr. kubikmeter. En normalballe med målene ca. 36 x 46 x 90 cm vejer således ca. 15 kg.

Vedvarende energi

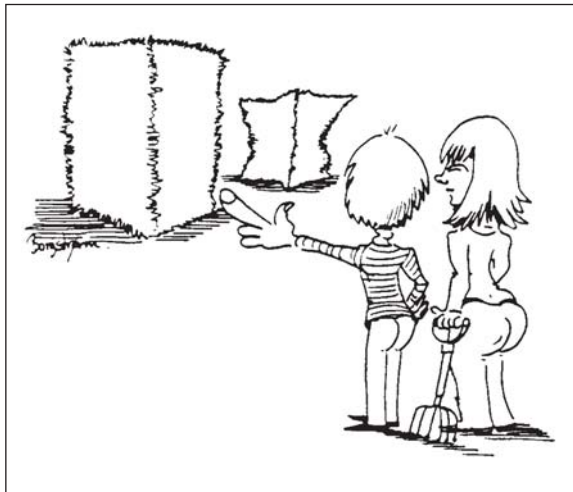
Biobrændsel

Baller der har andre mål, eller er hårdere presset, har selvfølgelig anden vægt, så inden man begynder at omregne olieforbrug til nødvendigt antal baller, må man finde vægten af de baller, man bruger som brændsel.

I nedenstående eksempler regnes med ovennævnte normalballe på ca. 15 kg.

Halm i normalballe å 15 kg med 17 % vandindhold repræsenterer da en nedre brændværdi på $3200 \times 15 = 48.000$ kcal.

Antages halmen afbrændt i en magasinke-del med nyttevirkning på 55 %, nyttiggøres $48.000 \times 0,55 = 26.400$ kcal. pr. balle.



Baller der har andre mål, eller er hårdere presset, har selvfølgelig en anden vægt

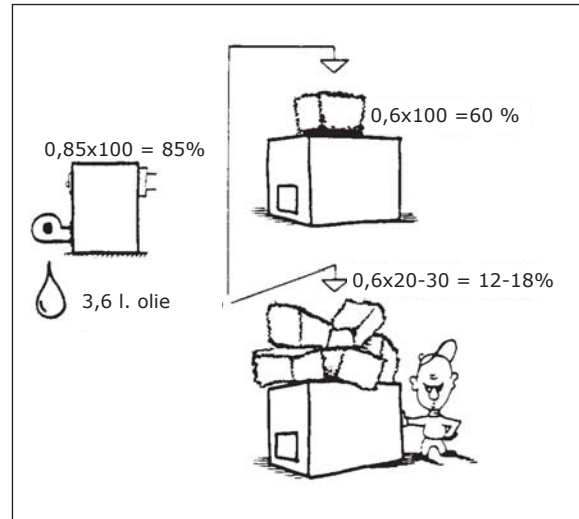
Fyringsgasolie vil, i en velisoleret kedel med et moderne oliefy, kunne afbrændes med en nyttevirkning på ca. 85 %.

Oliens nedre brændværdi er 10.200 kcal/kg. 1 kg olie svarer altså i nyttiggjort energi til $10.200 \times 0,85 = 8.670$ kcal/kg eller 7.280 kcal/liter ved en rumvægt på ca. 840 kg/kubikmeter.

Af foranstående kan udregnes, at en 15 kg halmballe svarer til ca. 3,6 liter fyringsgasolie. Det forudsættes, at kedelinstallationen kan brænde halmen med en nyttevirkning på 60 %.

Denne nyttevirkning opnås kun, hvis også de brændbare gasser afbrændes i kedelinstallationen. Disse repræsenterer som tidligere nævnt ca. 70 % af brændslets samlede brændværdi.

Hvis kun de faste bestanddele i halmen afbrændes, vil kun 20 - 30 % af halmens brændværdi blive nyttiggjort.



Det betyder, at der skal bruges 3 - 5 baller for at erstatte samme oliemængde. Denne 3 - 5 gange så store halmmængde skal presses, transporteres, lagres og indfyres, så selv om der ikke ligefrem skal betales for produktet, repræsenterer det en stor arbejdsindsats og blokering af produktions- eller lagerområder, der kan anvendes fornuftigere. Hertil kommer de alvorlige miljøproblemer, de store mængder uforbrændte gasser kan give.

Skal halmfyring erstatte et olieforbrug på 5000 liter, drejer det sig om en forskel på ca. 3000 baller, eller ca. 45 tons halm.

Hvor meget træ der skal til for at erstatte samme 3,6 liter fyringsgasolie, afhænger af træsort og fugtindhold.

Træ sælges normalt i skov eller kasserumme-ter, men dette er et usikkert mal, når energi-indhold skal vurderes.

En rummeter brænde indeholder nemlig forskellige træmængde afhængig af, om brændet ligger som lange eller korte stykker, om disse stykker er kløvede eller runde - og endelig om disse stykker er ordentligt stablet eller ligger hulter til bulter f.eks. i en beholder.

Desuden har de forskellige træsorter forskellig rumvægt, så det eneste rigtige mal i denne forbindelse er vægten kombineret med fugtindholdet.

Vedvarende energi



Biobrændsel

Til de 3,6 liter fyringsolie svarer f.eks.

$3,6 \times 7280 : (3650 \times 0,60) = \text{ca. } 16 \text{ kg fugtigt træ med } 50\% \text{ vandindhold.}$

Der er i ovenstående forudsat en nyttevirkning på 60 %, hvilket er opnåeligt i en god magasinkedel. Som halm gælder også her, at hvis ikke træets gasindhold nyttiggøres, skal bruges 3 - 5 gange så meget træ, og man har samme ulemper som nævnt for halm.

Da brændepriiserne normal opgives pr. rummeter, er det ønskeligt, at kunne sætte disse i forhold til oliepriserne.

Som udgangspunkt anvendes træsorten bøg, hvis rumvægt for massiv træmasse ligger omkring 685 kg/m^3 ved 0 % fugtindhold og på ca. 900 kg/m^3 ved 30 % fugtindhold. Der regnes her med, at den er lagret, så fugtindholdet er 30 %.

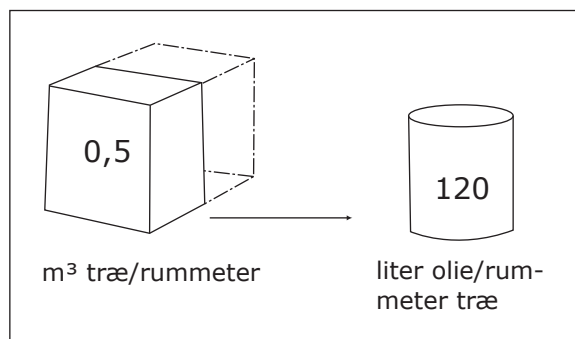
Nedre brændværdi pr. kg vil være:

$(45500 - 600 \times 0,30) : (1 + 0,30) = \text{ca. } 3320 \text{ kcal pr. kg træ.}$

I skovbrugstabeller anføres træindholdet pr. rummet for bøg at være:

- Meterknippel $0,52 \text{ m}^3$ pr. rummeter
- Alen knippel $0,57 \text{ m}^3$ pr. rummeter
- Meterfagot $0,65 \text{ m}^3$ pr. rummeter
- Alen fagot $0,73 \text{ m}^3$ pr. rummeter
- Klov (alen?) $0,73 \text{ m}^3$ pr. rummeter
- Flis $0,35 - 0,38 \text{ m}^3$ pr. rummeter

Kløvet træ i alens længde, læsset (ikke stablet) i kubikmeter netbeholder $0,50$ kubikmeter pr. rummeter.



Forefindes træbrændslet i en form med træindhold ca. $0,5$ kubikmeter pr. rummeter, vil

de tidligere nævnte 3,6 liter fyringsgasolie der modsvarede en 15 kg halmballe, kunne erstattes af:

$(7280 \times 3,6) : (0,5 \times 900 \times 3320 \times 0,60) = 0,029$ rummeter, eller sagt på en anden måde, svare 1 rummeter af dette brændsel til 120 liter fyringsolie

Er træindholdet i stedet $0,7$ kubikmeter pr. rummeter. vil det samme grundlag give:

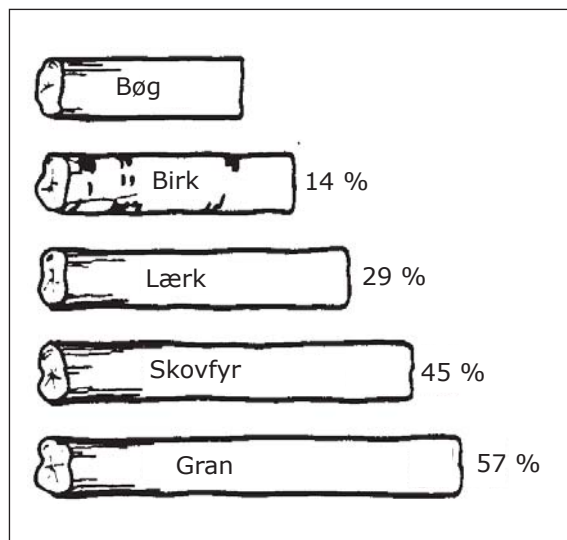
$(7280 \times 3,6) : (0,7 \times 900 \times 3320 \times 0,60) = 0,021$ rummeter pr. 15 kg halmballe, eller ca. 170 liter fyringsgasolie pr. rummeter.

Som nævnt er ovenstående baseret på træsorten bøg med tør rumvægten $685 \text{ kg pr. kubikmeter.}$

Er der tale om andre træsorter, skal der kompenseres for anden rumvægt.

Er træsorten birk, skal bruges ca. 14 % mere. Er det lærk ca. 29 % mere, skovfyr ca. 45 % mere - og er det gran ca. 57 % mere end hvis det var bøg.

Da disse brændsler, som tidligere nævnt, er gasholdige brændsler, skal der til forbrændingen tilføjes såkaldt »primærluft som »sekundærluft«.

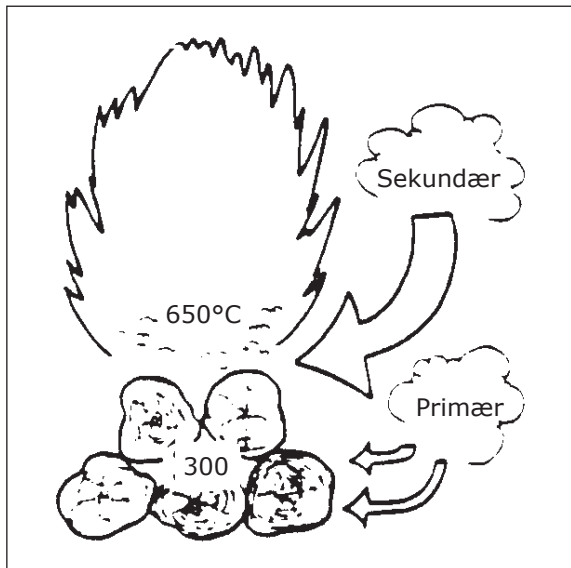


Ved den primære forbrænding, hvortil primærluften bruges, udvikles gasserne, som derefter skal blandes med sekundærluft for at kunne forbrænde.

Vedvarende energi



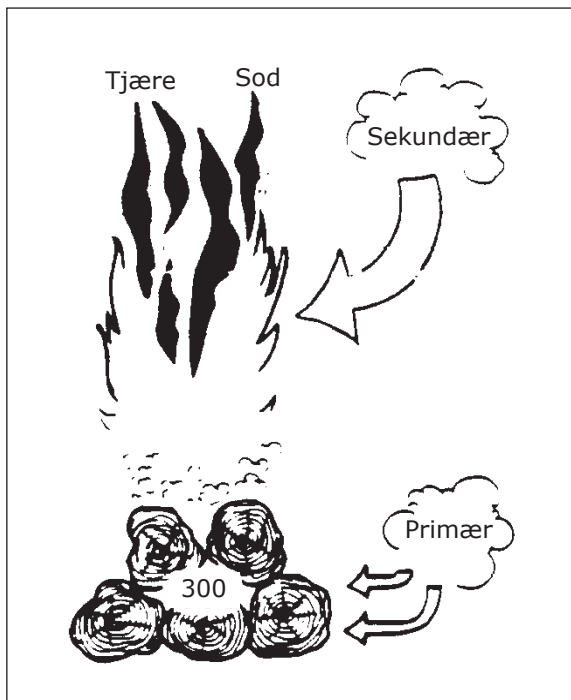
Biobrændsel



Det faste brændbare stof antændes allerede ved ca. 300 °C, men da gasserne først antændes ved en temperatur på ca. 650 °C, skal sekundærluften tilføres på det sted, hvor temperaturen er højest - og det vil sige lige der, hvor gasser og flammer forlader det glødende brændsel.

Desuden vil man skulle bruge de tidligere nævnte 3 - 5 gange så meget brændsel, for at få samme varmemængde.

Kedelrensninger skal gennemføres meget oftere, for at opretholde den forudsatte nyttevirkning af de 20 - 30 % af brændslet, der dog forbrændes under sådanne forhold.



Tilføres sekundærluften efter denne zone, vil den blot afkøle gasserne og forhindre antændelse.

Derved bliver forbrændingen ufuldstændig og sodende, og der vil afsættes vel kedel som skorsten med risikoen for skorstensbrand.



Forbrænding

Øvre og nedre brændværdi

Brændsler indeholder i reglen vand, ligesom der ved forbrænding dannes vand. Ved forbrænding af brændslet skal vandet fordampes, hvilket koster energi.

Fordampning af 1 kg vand bruger 2,45 MJ.

$1 \text{ kg H}_2\text{O}_{\text{vand}} \approx 1 \text{ kg H}_2\text{O}_{\text{damp}} - 2,45 \text{ MJ}$

Der skelnes mellem den øvre brændværdi (H_o) og den nedre brændværdi (H_n) for tørt brændsel og sædvanligvis også askefrit brændsel.

Ved H_n er vandets fordampningsvarme trukket fra den øvre brændværdi - såvel fordampningsvarmen for det vand, der er i brændslet, som for det vand, der dannes ved forbrændingen.

Den nedre brændværdi kan bestemmes ved hjælp af følgende:

$$H_n = H_o - 2442 \times (9 \times h + w) \text{ [kJ/kg.]}$$

h er brintindholdet i det rå brændsel

w er vandindholdet i det rå brændsel

Normalt benyttes den nedre brændværdi.

I de kondenserende kedler kondenseres røgens vand ud, hvorved fordampningsvarmen genvindes.

Benyttes den nedre brændværdi fås nyttevirkninger over 100 %.

Maximal CO₂

Den ilt, der indgår i forbrændingen, tages fra atmosfærisk luft. Hver gang man benytter 20,9 liter ilt, følger der samtidig 79 liter kvælstof med.

Når man måler på en røgprøve, der er suget ud fra røgrøret, kondenserer man vanddampen ud inden målingen. Tilbage bliver kvælstof, kuldioxid (CO₂), iltoverskud og eventuelt uforbrændt gas og kulilte (CO). Jo mere brint, der har været i brændslet, jo mere vand dannes der i forhold til CO₂ og derfor vil den CO₂ %, man kan måle, være afhængig af brændslet.

Brændsel	ca. værdier for max. CO ₂
Træ	20,2
Halm	20,0
Koks	20,0
Tørsv	19,5
Kul	18,4
Svær fuelolie	16,0
Fyringsgasolie	15,3
F-gas	13,8
Bygas	13,8
Naturgas	12,0

Ofte måles iltprocent - ikke CO₂ - så det kan være nødvendigt at omregne mellem de to typer måleresultat:

	O ₂ % =	CO ₂ % =
Kul	$1,14 \times (18,4 - \text{CO}_2\%)$	$0,88 \times (21 - \text{O}_2\%)$
Halm	$1,05 \times (20 - \text{CO}_2\%)$	$0,95 \times (21 - \text{O}_2\%)$
Træflis	$1,04 \times (20,2 - \text{CO}_2\%)$	$0,96 \times (21 - \text{O}_2\%)$
Gasolie	$1,37 \times (15,3 - \text{CO}_2\%)$	$0,73 \times (21 - \text{O}_2\%)$
Naturgas	$1,75 \times (12,0 - \text{CO}_2\%)$	$0,57 \times (21 - \text{O}_2\%)$



Biobrændsel

Luftoverskud og røggasblanding

I takt med forbrænding af kulbrinter og kulstof vil kuldioxidprocenten stige og iltprocenten falde. Afhængigt af, hvor meget brint brændslet indeholder, kan kuldioxidprocenten teoretisk ligge mellem 15 % for forbrænding af voks og harpiks og 20 % for træforbrænding.

Normalt er kuldioxidprocenten et udmærket udtryk for, om der er tilført forbrændingen en tilstrækkelig mængde forbrændingsluft.

I begyndelsen af forbrændingen efter brændepåfyring kan kuldioxidprocenten nå op på 18 %, senere i forløbet når den ned på 4 - hvilket svarer til, at iltprocenten stiger fra ca. 3 til ca. 17 %.

Den luft, der tilføres ud over den teoretisk nødvendige forbrændingsluft, kaldes luftoverskud. Et vist overskud af luft er nødvendigt for at sikre tilstrækkelig luft overalt, hvor gasserne skal brænde selv om gas/luftopblandingen aldrig er helt ensartet.

Forholdet mellem tilført luft og teoretisk nødvendig luft kaldes for luftoverskuds-koefficienten λ (lambda).

$$\lambda = \frac{\text{tilført luft}}{\text{nødvendig luft}}$$

Hvis λ (lambda) er omkring 1, vil %ilt give et mere sikkert mål for λ . Har man f.eks. 1 % CO og 19 % CO₂ og man kun måler CO₂, kan man tro, at man har luftoverskud, mens man i virkeligheden har luftunderskud.

Den tilførte luft skal opvarmes til røggastemperatur. Derfor giver større luftoverskud end nødvendigt for forbrændingen et unødvendigt stort røggastab (% røggastab er lig med 100 minus % nyttevirkning).

Luftoverskuddet kan endvidere udtrykkes ved forholdet mellem den maksimale og målte CO₂-procent, se nedenstående:

$$\lambda = \frac{\text{max CO}_2\%}{\text{målt CO}_2\%}$$

Forbrændingens afhængighed af temperatur og luft

Hvis træ er varmet op til sin antændelsestemperatur, og der tilføres luft (primærluft), vil træet brænde under varmeudvikling.

For at forbrændingen skal kunne fortsætte, må den udviklede varmemængde være lige så stor som eller større end den varmemængde, der fjernes med røgen og ved afgivelse gennem ovnvæggene. Ellers går forbrændingen i stå igen.

Hvis forbrændingen fortsætter, er forbrændingshastigheden meget afhængig af den hastighed, hvormed kan føres luft til den brændende overflade.

Forbrændingshastigheden er også afhængig af overfladetemperaturen af det materiale, træ, trækul eller kul der brænder - men luft-hastigheden er afgørende, blot brændslets overfladetemperatur er over 830 °C.

Ved gasarter, gas eller fordampede væsker, hvor temperaturen er høj nok, sker forbrændingen praktisk talt øjeblikkeligt, når der er blandet luft i. Det tidskrævende er at få luft og gas blandet tilstrækkeligt.

Et forhold, der også spiller ind, er gas/luftblandingers forbrændingshastighed. Overskrider gassens hastighed gasforbrændings-hastigheden på grund af indsnævring i røggasvejen, før forbrændingen er afsluttet, blæser flammen ud.

Gassammensætningen - og dermed forbrændingshastigheden - varierer hen igennem forgasningsforløbet efter hver brændepåfyring. Derfor må det ved dimensionering af ovnens brændkammer og røgveje sikres, at forbrændingen er afsluttet, inden gasserne når ud i kanaler eller skorsten, hvor der kan forekomme hastigheder højere end forbrændingshastigheden.



Forbrændingshastigheder for gas/ luftblandinger

Eksempler på gas/luftblandingers grænser for brændbarhed samt maksimale forbrændingshastigheder			
Gasart blandet i luft	Laveste brændbare % gas i luft	Højeste brændbare % gas i luft	Maks. forbrændingshastighed i meter/sek.
H ₂	4,0	75	3,1
CO	12,5	74	0,45
CH ₄	5,3	15	0,45
C ₂ H ₂	2,5	80	1,58
C ₂ H ₄	3,1	32	0,75
C ₂ H ₆	3,1	15	0,40
C ₃ H ₈	2,2	9,5	0,43
n-C ₄ H ₁₀	1,9	8,5	0,38
C ₆ H ₆	1,5	7,5	0,41
C ₂ H ₄ O	3,0	8,0	1,05

Gas, der bliver varmet op uden at brænde, vil kunne fraspalte kulstofpartikler, sod. Dette sker eksempelvis, fordi luften ikke er jævnt fordelt og blandet med gasserne i forbrændingskammeret.

Det er vigtigt, at de gasser, der på grund af strålevarmen fra flammerne eller murværk uddrives fra brændet, hurtigt bliver blandet med luft, inden soddannelsen bliver for voldsom.

Blandingen skal være sket, inden gasserne er kølet ned under antændelsestemperaturen. Det er vel at mærke blandingen af gas og luft, der skal være varmere end antændelsestemperaturen. Det er på nogle ovne løst ved forvarmning af forbrændingsluften.

Det er derfor ikke hensigtsmæssigt at tilføre gasserne for meget luft, fordi blandingen derved bliver for kold til at kunne brænde.

På den anden side kan blandingen blive for dårlig i mange forbrændingsrum, hvis der skrues ned for sekundærluften, da det er lufttilsætningen, der virker som blandemekanisme.

Det kan afhjælpes ved at bruge mindre luftdyser med højere lufthastighed. Også her vil forvarmning af luften kunne hjælpe, da forvarmet luft fylder mere end kold luft.

Samme luftmængde vil derfor kunne tilføres med større hastighed. Undertiden er skorstenstrækket ikke tilstrækkeligt hertil, især hvis skorstenen er lavere end 4 - 5 meter.

Soddannelse

Holdes en gas varm uden luftadgang, kan der fraspaltes små kulstofpartikler, der efterhånden klumper sammen og danner sod.

Sodpartiklerne kan, ligesom aktivt kul, der bruges i filtre, optage uforbrændte kulbrinter, og danne belægninger i røgkanaler, for slet ikke at tale om sort røgfane fra skorstenen.

Køles flammen (gas/luftblandingen) for tidligt ved f.eks. stråletab gennem ruden, eller ved at flammerne slikker mod en kold flade som f.eks. en vandtank anbragt forkert, vil røgen kunne indeholde uforbrændte gasser og flammerne vil sode.



Nødvendige betingelser for god forbrænding

1. Det gælder om at opnå en hastighedsforskel mellem brændsel og forbrændingsluft uden at få partikler revet med i gasstrømmen.
2. Især for fugtigt brændsel eller vanskeligt antændelig halm skal forbrændingsluften tilføres på en sådan måde, at en passende del af forbrændingsvarmen overføres til brændslet for at få det antændt - og på den måde holde forbrændingen i gang.
3. Gas/luftblandinger må ikke køles under antændelsestemperaturen, før forbrændingen er afsluttet.
4. De udbrændte varme gasser må ikke passere ubrændt brændsel. Sker dette, uddrives nye, ubrændte gasser. De udbrændte gasser må ikke indeholde ubrændte brændselspartikler.
5. Luftoverskudet skal holdes passende lavt, uden at det går ud over turbulensen.
6. Der skal sikres god turbulens, indtil gasser og partikler er udbrændt.
7. Der skal sikres minimal medrivning af brændsel i brændende røggasser.
8. Der skal sikres tilstrækkeligt træk til at fjerne røgen og til at skabe turbulens i forbrændingskammeret, med mindre turbulens skabes af en forbrændingsluftblæser.

Forureninger

Foruden forurening med sod og uforbrændte kulbrinter og kuliite kan fastbrændselfyring forurene med kokspartikler, askepartikler og med partikler af uforbrændt og delvist forbrændt brændsel.

Dårlig forbrænding er ikke blot et miljøproblem og et driftteknisk problem, men også et fyringsøkonomisk problem. De uforbrændte komponenter i røgen repræsenterer nemlig et tab.

Principper for indblæsning af luft

Den måde, hvorpå forbrændingsluften tilføres forbrændingen, har stor indflydelse på både forbrændingen og forureningen.

Hvor stor en del af forbrændingsluften der skal tilføres gennem brændslet - og altså gennem rist eller essetrug eller som overløft, bestemmes af, om risten eller essetruget har

brug for den køling, luft herigennem kan give, og om der foregår forbrænding i hele brændselslaget, altså også i dybden af brændselslaget, og som kan begrunde, at der er luft tilstede her.

Det er i en række tilfælde uhensigtsmæssigt at tilføre forbrændingsluften gennem brændselslaget:

- Luftmodstanden bevirker, at der skal anvendes et relativt højt blæsertryk, og dermed stort el-forbrug.
- Mindre partikler kan blive revet med luften op i røggasserne, hvorved forbrændingsbetingelserne for partiklerne forringes.
- Forbrændingsluften gennem materialet fjerner flammerne fra brændslet og forringer tilbageføring af den varme, der skal tørre, forgasse og antænde brændselsoverfladen, der således kun får varme ved tilbagestråling fra flamme og fra murværk, hvis der er murværk.

Hvis luften gennem materialet er forvarmet, forværres situationen i visse tilfælde yderligere, idet vand og forgasningsprodukter fra den nederste del af brændslet føres op til den øverste del, der måske i forvejen har et vandindhold på kanten af, hvad der kan brænde.

De forgasningsprodukter, der damper af først, er kuldioxid og vand, der ikke kan brænde. Derefter kommer brint, kuliite og methan, der tænder ved henholdsvis 530, 610 og 645 °C.

Tjærestofferne, de tungere kulbrinter, der er letantændelige (250 - 400 °C) og som skulle holde forbrændingen i gang, fordampes sidst.

Ved indregulering af anlæg bør man derfor holde primærluftmængden så lav som muligt, og sekundærluftmængden tilstrækkelig til udbrænding af partikler og gasser.

Netop ved at holde primærluftmængden nede, begrænser man problemet med, at brændbare partikler medrives i afgangsgasserne.

Ud over en korrekt lufttilførsel er også en god blanding af luft og gasser nødvendig. Blandingen skal være sket, inden gasserne køles til under 700 - 800 °C for at opnå en fuldstændig forbrænding (kølingen sker mod kedelvægge eller ved fortynding med eventuel overflødig luft).



Biobrændsel

Opretholdelse af tilstrækkelig temperatur af gasserne afhænger af brændkammerets konstruktion og isolering, af forbrændingsluftmængden og af den indfyrede effekt.

Den ind sugede mængde forbrændingsluft og overflødig luft (falskluft) afhænger af følgende:

- Forbrændingsluftindtagenes og eventuelle utætheders åbningsareal.
- Trækket, der forøges med røgtemperaturen.
- Modstanden i ovnsens røgrør og kanaler, der stiger med tilsmudsningsgraden af røgvæjene.

Reaktionsfaser

Når træ skal forbrændes, sker det normalt i fire mere eller mindre sammenfaldende faser:

1. Tørring, fordamning af vand
2. Forgasning (pyrolyse)
3. Gasforbrænding
4. Kulstofforbrænding

Tørring, fordamning af vand

Fordampningen af vandet i brændet kræver ikke luft, kun varme, ca. 0,22 MJ pr. procent vand.

Forgasning (pyrolyse)

Forgasningen kræver, så længe træets temperatur er under 270 °C ligeledes varme og sker forgasningen uden en samtidig forbrænding af de udviklede gasser.

F.eks. på grund af utilstrækkelig forbrændingsluft eller utilstrækkelig temperatur, kan der forekomme en yderligere afkøling af de udviklede gasser, således at det bliver endnu vanskeligere at opnå den nødvendige temperatur for gassernes antændelse.

Ved opvarmning af træ uden kontakt med luft sker der en gradvis spaltning af det organiske materiale.

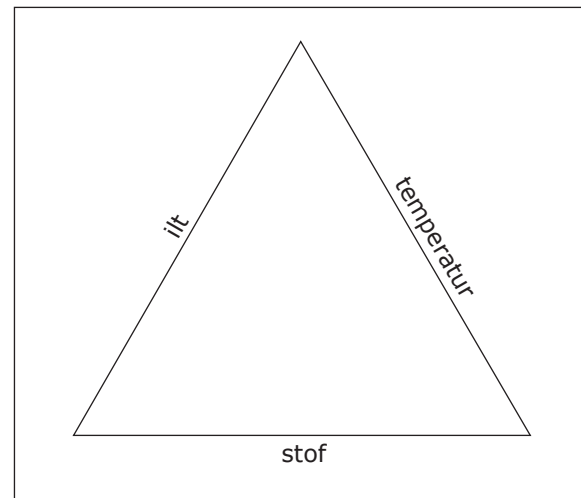
Når temperaturen op over 270 °C, kan spaltningen fortsætte uden tilførsel af varme eller luft. Processen udvikler selv tilstrækkelig varme til at holde sig i gang. Under denne spaltning dannes en række kemiske forbindelser. Blandingen kaldes populært for tjære.

Reaktionsfaser ved portionsfyring

En forbrænding sker, når et brændbart stof danner en eller flere forbindelser med luftens ilt, oxygen.

Det brændbare stof reagerer med ilt, der udgør 20,9 % af luftens atmosfære.

For at reaktionen kan starte, kræves en vis temperatur, antændelsestemperaturen. Som huskeregel er det symboliseret ved forbrændingstrekanten.



Formålet med en brændefyret kedel eller ovn er at overføre så meget som muligt af brændslets energiindhold til kedlens vand eller til stuen, eller hvis der er tale om en brændeovn med vandtank (gris) til vandet og til stuen.

En mindre del af energien skal dog blive i skorstensrøgen, for at skorstenen kan skabe det fornødne træk til at suge forbrændingsluft ind i forbrændingskammeret og fjerne forbrændingsprodukterne.

I kedler med forbrændingsluftblæser og/eller røggassuger, overtager disse en del af denne funktion.

For at sikre en fuldstændig forbrænding af brændet skal der tilføres en vis forbrændingsluftmængde.

Lufttilførsel herudover skader fyringsøkonomien og øger forureningen, bl.a. med medrevet støv og udsendelse af uforbrændte produkter som tjære og sod.

Stor betydning har korrekt valg af brænde med hensyn til vandindhold, længde og kløvingsgrad.



Kedeleffekt

Nødvendig kedeleffekt baseret på opvarmet areal og husets alder

Ud fra kendskab til husets alder og det ønskede opvarmede areal kan den nødvendige kedeleffekt på fastbrændselskedlen beregnes ud fra diagram 1. Effekt til varmt brugsvand og tab (2 kW) er indregnet.

Diagram 1 viser den nødvendige kedelydelse både for et hus, der opfylder bygningsreglementets krav til isolering, og for den ældre og dårligt isolerede bygningsmasse. Hvis et olie-fyr indgår i installationen, kan dette anvendes som reservespidslast.

I dette tilfælde er det ikke nødvendigt at dimensionere fastbrændselskedlen til husets dimensionerende varmetab. Der opnås en mere optimal drift, hvis fastbrændselskedlen underdimensioneres til f.eks. 75 % (nedre grænse) af det dimensionerende varmetab.

Nødvendig kedelydelse baseret på boligens areal og alder

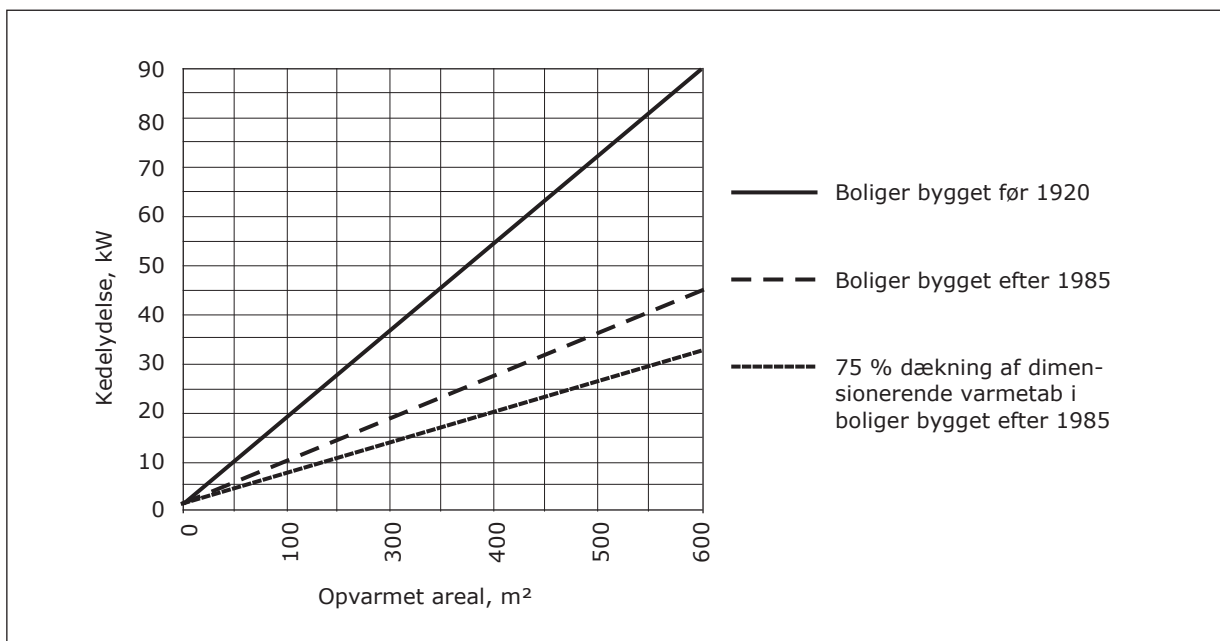


Diagram 1: Den nødvendige kedeleffekt, baseret på opvarmet areal og husets alder.



Den nødvendige kedeleffekt baseret på årligt olieforbrug eller el-forbrug

Ud fra kendskab til husets årlige olie- eller el-forbrug i kWh til opvarmning kan den nødvendige kedeleffekt på fastbrændselskedlen beregnes ud fra diagram 2. Effekt til varmt brugsvand og tab (2 kW) er indregnet.

Nødvendig kedelstørrelse baseret på årligt olieforbrug i moderne installation med 75 % årsnyttevirkning

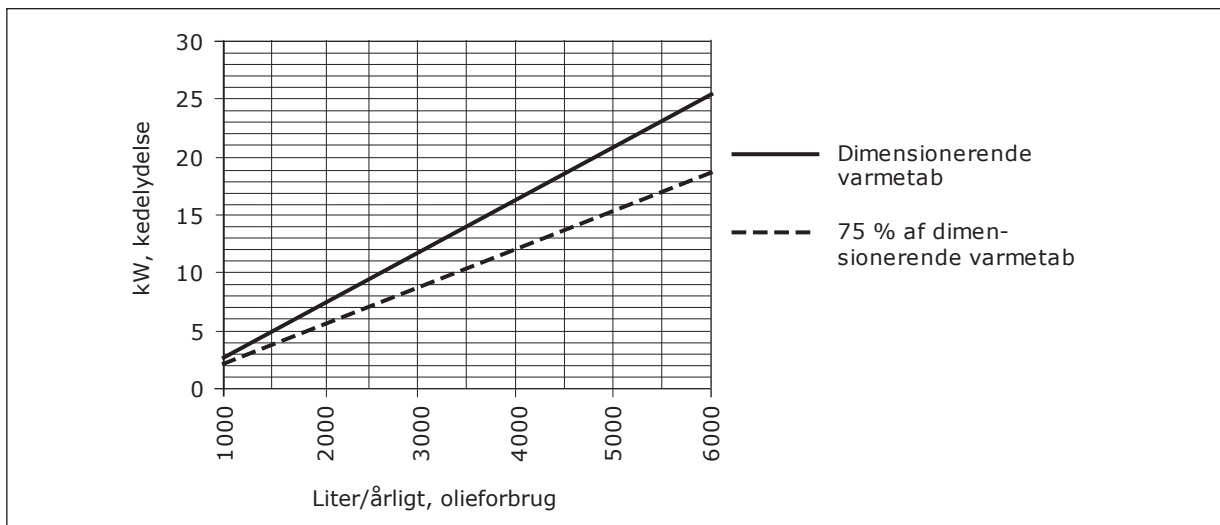


Diagram 2: Den nødvendige kedeleffekt baseret på årligt olieforbrug i liter.

Hvis boligen har været el-opvarmet, svarer 1 kWh el til 0,13 liter olie.

Eksempel

Det årlige el-forbrug til opvarmning udgør 30.000 kWh. Dette svarer til 4.000 liter fyringsolie.

Hvis fastbrændselsanlægget skal kunne opvarme boligen alene, skal kedlens ydelse være 16 kW. Hvis oliefyret anvendes som reservelast, skal ydelsen minimum være 12 kW.

lægget. Vær opmærksom på, at fastbrændselsanlæggets virkningsgrad falder markant, når ydelsen kommer under 30 % af den nominelle ydelse.

Eksempel

Hvis kedlens minimale ydelse er 30 % - og hvis kedlen er dimensioneret, således at ydelsen svarer til husets maksimale effektbehov, kan oliefyret med fordel anvendes fra begyndelsen af maj til slutningen af september.

Varmebehovets variation gennem året baseret på vejrdato

Nedenstående diagram viser kedelbelastningen fordelt over årets måneder. Som det fremgår, er der stor forskel på middelbelastningen over årets måneder. Bemærk især at kedelbelastningen kun er 12 - 13% i sommerperioden.

Diagrammet kan benyttes til at bestemme, hvilke perioder af året, oliefyret med fordel kan anvendes i stedet for fastbrændselsan-



Dimensionering af akkumuleringsstank, brændekedler

Kedlens ydelse

Når ydelsen på en manuelt fyret brændekedel skal vælges, gælder diagram 1 og 2 ikke.

Det ville betyde, at man om vinteren skulle fyre hver 2. - 4. time. Derfor vælger man en kedel med en ydelse, som er større end boligens største varmebehov. Den del af energien, som ikke anvendes direkte til opvarmning af boligen, lagres i en akkumuleringsstank.

Brændekedlen skal dimensioneres således, at den i den periode af døgnet, hvor der produceres varme, dækker boligens samlede varmebehov for hele døgnet.

Ved valg af kedelstørrelse følger man normalt nedenstående fremgangsmåde:

1. Boligens maksimale effektbehov i kW fastlægges. Diagram 1 og 2 kan bruges som vejledning.
2. Det fastlægges i hvilket tidsrum (antal timer), der skal fyres. Kedlens ydelse kan beregnes ud fra formlen:

$$\frac{24 \times \text{maksimale varmebehov i kW (} Q_{\text{bolig}} \text{)}}{\text{Fyringstidsrum i timer (} T_{\text{fyr}} \text{)}}$$

Eksempel

Hvis man har mulighed for at fyre 8 timer om dagen - og boligens maksimale effektbehov er 15 kW, skal man vælge en kedel med ydelsen:

$$\frac{24 \text{ timer} \times 15 \text{ kW}}{8 \text{ timer}} = 45 \text{ kW}$$



Beregning af akkumuleringsstankens størrelse på baggrund af varmebehov, kedelydelse og fyringshyppighed

Fastbrændselskedler til brænde skal altid forsynes med en akkumuleringsstank. Det giver den største komfort for brugeren, den bedste fyringsøkonomi og den mindste miljøbelastning.

Størrelsen på akkumuleringsstanken afhænger af flere ting. Fremgangsmåden for at beregne den korrekte størrelse er følgende:

1. Boligens maksimale varmebehov (Q_{bolig}) i kW fastlægges som ved beregning af kedelydelsen på forgående side. Diagram 1 og 2 kan bruges som vejledning.
2. Det fastlægges hvor mange gange i døgnet, der højst skal fyres. Påfyriingsintervallet (T_p), tiden fra en påfyring til den næste, er:

$$\text{Påfyldningsinterval } (T_p) = \frac{24}{\text{antal fyringer pr. døgn}}$$

3. Akkumuleringsstankens (V_{akk}) størrelse i kg (liter) beregnes af formlen:

$$V_{\text{akk}} = \frac{T_p \times 3600 \times Q_{\text{kedel}}}{t \times 4,186} \times \frac{Q_{\text{bolig}}}{Q_{\text{kedel}}} \times \left(1 - \frac{Q_{\text{bolig}}}{Q_{\text{kedel}}}\right)$$

hvor:

V_{akk} er tankvolumen i kg (liter) vand

T_p er påfyriingsintervallet i timer

Q_{kedel} er kedlens effekt i kW

Q_{bolig} er boligens varmebehov i kW inkl. varmtvandsproduktion

Δ_t er tankens arbejdstemperaturforskel, afkølingen (Topladet - Tafladet) 4,186 er en omregningsfaktor mellem kJ og kcal

Δ_t sættes normalt til 40 - 50 °C (Δ udtales delta).

Eksempel

Der fyres to gange i døgnet. Påfyriingsintervallet er $24/2 = 12$ timer. Boligens maksimale effektbehov er 15 kW. Kedlens ydelse er 45 kW. Vandet afkøles 40 °C fra 90 °C til 50 °C i akkumuleringsstanken. Akkumuleringsstankens volumen bliver:

$$V_{\text{akk}} = \frac{12 \times 3600 \times 45}{40 \times 4,186} \times \frac{15}{45} \times \left(1 - \frac{15}{45}\right) = 2580 \text{ kg. (liter)}$$

Hvis man ønsker en mindre akkumuleringsstank, kan man vælge at fyre tre gange pr. døgn. Påfyriingsintervallet bliver da otte timer. Hvis 8 indsættes i stedet for 12 i formlen ovenfor, kan akkumuleringsstankens størrelse beregnes til 1.528 liter.



Beregning af akkumuleringstankens størrelse på baggrund af kedlens magasinvolumen

Hvis man ikke ønsker at anvende ovennævnte formler til beregning af akkumuleringstankens størrelse, kan diagram 4 anvendes.

Diagrammet kan også anvendes, hvis akkumuleringstanken anvendes sammen med et automatisk fyringsanlæg til f.eks. træpiller. Akkumuleringstanken beregnes på baggrund af magasinets størrelse i liter.

Størrelse af akkumuleringstank afhængigt af magasinvolumen 80 % virkningsgrad, 40 °C afkøling

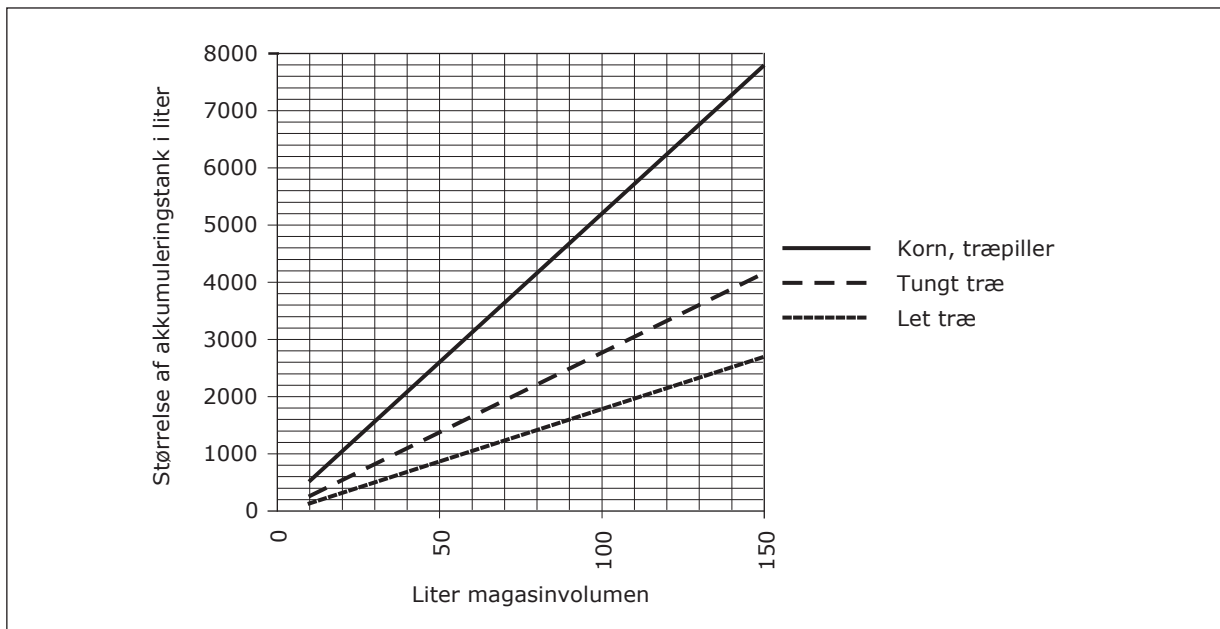


Diagram 4: Med kendskab til kedlens magasinestørrelse kan størrelsen af akkumuleringstanken bestemmes (i brændekedler er magasin = brændkammer).

I diagram 4 regnes med, at boligens varmebehov på fyringstidspunktet er 0, og at magasinet fyldes helt op ved hver påfyring.

Eksempel

Brændekedlens magasin er på 100 liter. Der anvendes fortrinsvis tungt træ.

Af diagram 4 fremgår det, at akkumuleringstanken skal have en størrelse på ca. 2.800 liter.

Diagram 4 kan også anvendes til at beregne, hvor meget magasinet i fastbrændselskedlen kan fyldes, såfremt akkumuleringstanken ikke er stor nok til at rumme hele energimængden - og kan sammen med diagram 5 benyttes til at beregne fyringsintervallerne samt til at beregne, hvilken mængde brænde man skal indfyre ad gangen.



Forbrug af brænde til dækning af boligens effektbehov eller kedlens ydelse, 18 % vand, 80 % nyttevirkning

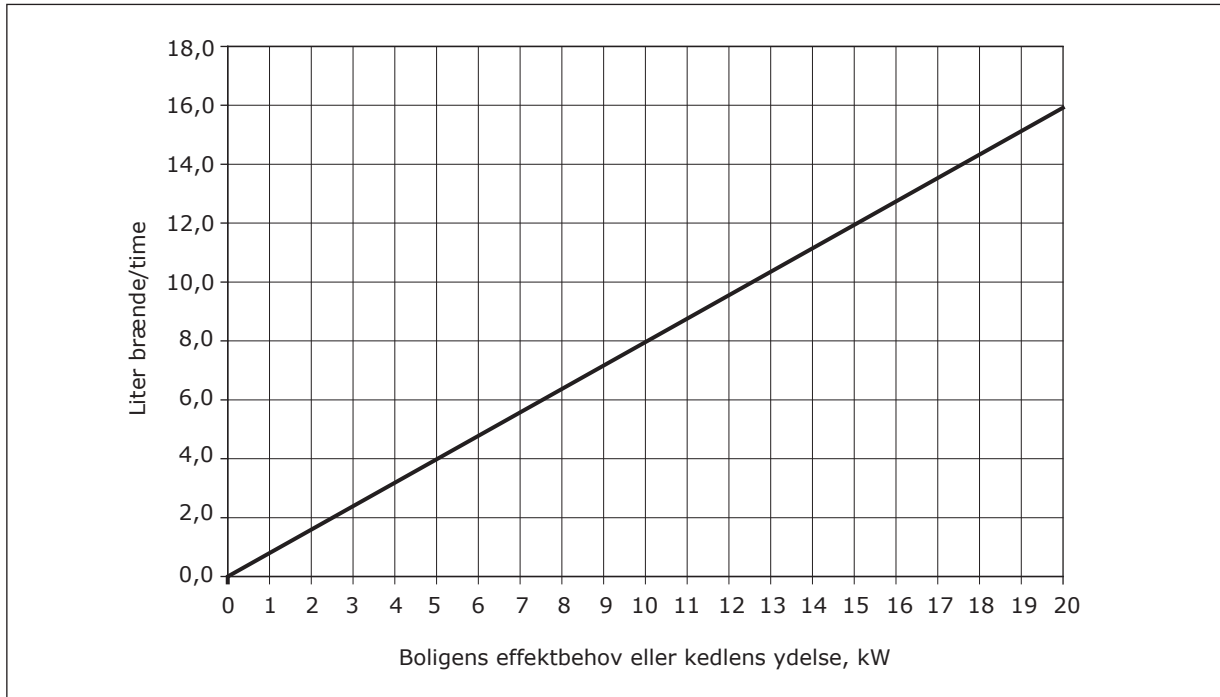


Diagram 5: Trækker man boligens effektbehov fra kedlens ydelse, har man den effekt, akkumuleringsstanken skal optage. Af diagrammet ses, hvor mange liter tungt brænde pr. time dette svarer til. I diagram 4 ser man, hvor mange liter brænde, der kan indfyres i magasinet, når man kender akkumuleringsstankens størrelse.

Beregningerne er baseret på, at akkumuleringsstanken skiftevis opvarmes til 90 °C og køles til 50 °C (90 °C/50 °C).

Eksempel

Brændekedlens effekt er 20 kW. Kedlens magasin kan rumme 100 liter brænde. Akkumuleringsstanken kan rumme 1.000 liter. Boligens effektbehov er 6 kW. Der fyres med tungt træ.

Af diagram 5 fremgår, at 20 kW svarer til 16 liter tungt brænde pr. time. Når kedlen brænder, er (kedlens ydelse) minus (boligens effektbehov) til overs og skal akkumuleres. I dette tilfælde er det $20 \text{ kW} - 6 \text{ kW} = 14 \text{ kW}$. Af diagram 5 ses, at 14 kW svarer til 11 liter tungt brænde pr. time. Af diagram 4 ses, at 1.000 liter akkumuleringsstank svarer til 35 liter tungt brænde.

Kedlen kan altså brænde i ca. 3 timer ($3 \times 11 = 33$ liter tungt brænde), før akkumuleringsstanken er fyldt.

Boligens effektbehov på 6 kW svarer til ca. 5 liter tungt brænde pr. time. Akkumuleringsstanken kan levere varmen $135/5 = 7$ timer. Fyringsintervallerne bliver $7 + 3 = 10$ timer.

Hvis man kan benytte tanken i intervallet 95 °C/45 °C i stedet for 90 °C/50 °C, får man 20 % større kapacitet i tanken - der så kan rumme varmen fra 42 liter tungt brænde.

Kedlen skal brænde 20 % længere for at lade tanken op - og tanken kan levere varmen i 20 % længere tid.

Fyringsintervallerne kan også forlænges med 20 % til 12 timer - men en af forudsætningerne er, at man kan køle sit returvand til 45 °C, hvilket måske kræver gulvvarme eller flere eller større radiatorer.



Indregulering og drift af mindre fastbrændselsanlæg

Fyringsanlæg til faste brændsler

Fyringsanlæggets formål er at overføre brændslets energiindhold til anlæggets vand (og for brændeovnes vedkommende til den omgivende stueluft eller til stenene i en masseovn).

Det kan ske ved at forbrænde brændslet med atmosfærisk luft i et brændkammer, hvorfra man leder den dannede røg til en skorsten, mens varmen overføres til vand i en kappe eller rør omkring brændkammer og røgveje.

For at udnytte brændslet effektivt, må man dels sørge for en effektiv forbrænding, dels må anlægget være indrettet, så mest mulig varme overføres til fyringsanlæggets vand.

Fyringsanlæg for fast brændsel kan være manuelle eller automatiske.

Manuelle anlæg

I manuelt fyrede anlæg også kaldet portionsfyre eller magasinkedler, er der en vis mængde brændsel i forbrændingskammeret. Den øjeblikkelige effekt bestemmes af, hvor meget primærluft, der tilføres forbrændingen.

Primærluften er den del af den tilførte luft, der kommer direkte i kontakt med brændslet. Sekundærluften er den luft, der skal nære udbrændingen af de gasser, der ikke er brændt ved primærforbrændingen.

Automatiske anlæg

I de automatisk fyrede anlæg bestemmes effekten af den hastighed, hvormed brændslet tilføres forbrændingskammeret.

I anlæg for flis, korn, piller og andre brændsler, som oplagres findelt, sker transporten fra brændselsmagasinet til forbrændingskammeret ofte ved hjælp af en eller flere snegletransportører.

Den indfyrede brændselsmængde reguleres ved at starte og stoppe indfyringsneglen. Hvis indfyringsmængden kan reguleres op og ned efter det aktuelle effektbehov ved at ændre indfyringsneglens omdrejningshastighed, kaldes anlægget modulerende .

Den automatiske styring af kedlen sørger for at afpasse mængden af primær- og sekundærluft efter den indfyrede brændselsmængde.

Ved anlæg for oprevet eller snittet halm kan man se systemer, hvor det er halmsnitteren eller opriveren, der bestemmer den indfyrede effekt, således at der ikke er nogen mellem-silo med doseringsudstyr for findelt brændsel.

Manuelle og automatiske systemer

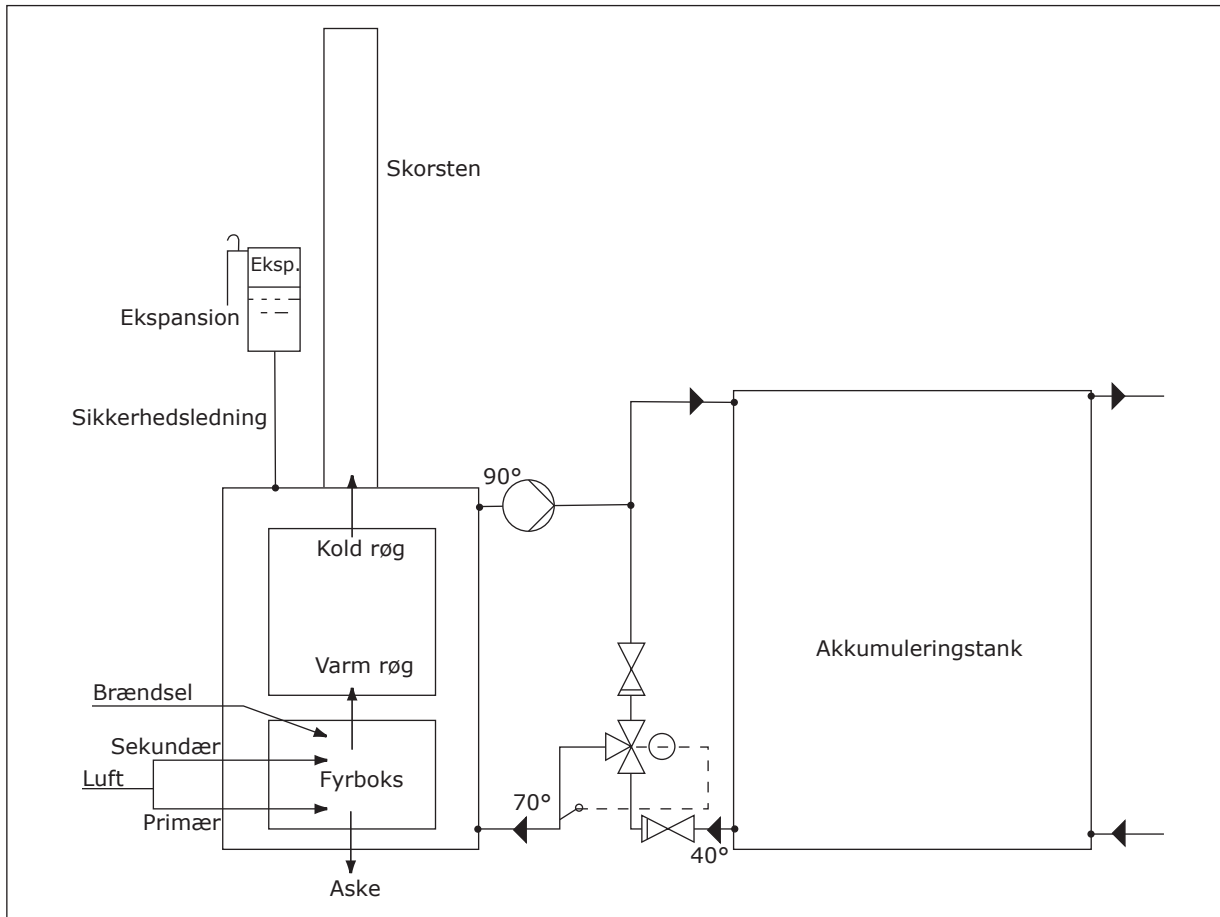
Såvel manuelle som automatiske anlæg består af (bør bestå af) følgende komponenter:

- Brændselsindfødningssystem (manuelt eller automatisk).
- Forbrændingskammer omgivet af kedelvand.
- Lufttilførselssystem for primær- og eventuelt sekundærluft ved naturligt træk eller forbrændingsluftblæser.
- Askeudtag, manuelt eller mekanisk.
- Røgekøler omgivet af kedelvand.
- Skorsten og eventuelt røggasser.
- Akkumuleringstank der giver mulighed for rimelige driftperioder.
- Kedelshunt der sikrer returtemperatur til kedlen på minimum 70 °C.
- Sikkerhedsledning og ekspansionsbeholder.
- Kedelvandstermometer og manometer.
- Termometre for kedel-fremløb, kedel-retur, akkumuleringstank-retur og røgtemperatur.
- Termometre på akkumuleringstanken, der viser restkapacitet.
- Spjæld-, ventil- og timerskalaer der muliggør indstilling af driftparametre efter skriftlig instruktion, eventuel kontrolboks med en gennemskuelig filosofi.
- Undertryksmåler for undertryk i fyrboks og ved skorstensindgang.



Forbrænding i fyrboksen

Ved forbrændingen reagerer luftens ilt med brændslets indhold af kulstof, brint og svovl (og kvælstof), hvorved der udvikles der varme.



Den varmeenergi, der udvikles, f.eks. i løbet af en time, måles f.eks. i kilo-kalorier (kcal), kilo-joule (kJ) eller kilowatt-timer (kWh). Kedlens effekt måles i kilowatt (kW).

Den udviklede varme går til:

- Opvarmning af brændet.
- Opvarmning og fordampning af vandet i brændet.
- Nedbrydning (pyrolyse) af brændets molekyler til mindre molekyler (gas, syre, tjære, vand).
- Opvarmning og fordampning af de dannede stoffer til forbrændingstemperatur, hvor man så får noget af varmen igen, hvis gasserne faktisk brænder.
- Afgivelse af varme gennem brændkammerets væg.
- Opvarmning af asken.

Fyringsanlæggets virkningsgrad eller nyttevirkning er forholdet mellem den indfyrede energi og den nyttiggjorte energi. Hvis der for eksempel i en manuelt fyret kedel indfyres 1 kg tørt brænde, svarer det til en indfyret energimængde på ca 15 MJ. Derved opvarmes vandmængden i anlægget et antal grader, f.eks. svarende til et forøget energiindhold på 12 MJ. Virkningsgraden bliver da $(12 : 15) \%$, eller 80 procent.

- 1 kcal er den varmemængde, der skal til at opvarme 1 kg vand 1 °C.
- 1 kcal = 4,2 kJ = $4,2 : 3600$ kWh = 1,163 : 1000 kWh
- 1 joule = 1 watt-sekund
- 1 MJ (megajoule) = 1000 kJ = 239 kcal = 0,278 kWh
- 1 Mwh (megawatt-time) = 1000 kWh = 3600 MJ = 3,6 GJ (gigajoule)



Opstart og indregulering af anlæg

1. Kontroller at anlægget er monteret i henhold til det valgte installationsdiagram og fabrikantens anvisninger
2. Ved åbne anlæg kontrolleres, at sikkerhedsledning og ekspansionsbeholder er i overensstemmelse med kravene i At-vejledning - Tekniske hjælpemidler B.4.8, også hvis der er tale om en eksisterende installation, herunder:
 - At der ikke er forhindringer mellem kedlen og atmosfæren.
 - At der er stadig stigning på sikkerhedsledningen.
 - At der er frostsikring, men ikke ved direkte cirkulation i ekspansions beholderen.
3. Ved lukkede anlæg kontrolleres:
 - At sikkerhedsventilen er i overensstemmelse med kravene i At-vejledning - Tekniske hjælpemidler B.4.8, også hvis der er tale om en eksisterende installation.
 - At der er stadig stigning fra kedlen til sikkerhedsventilen.
 - At der ikke er forhindringer mellem kedel og sikkerhedsventil.
 - At fortrykket på ekspansionsbeholderen passer.
4. Kontroller at skorstenens lysning og højde svarer til det forudsatte.
5. Kontroller at tilslutningen til skorstenen er tæt og at røgrøret er isoleret.
6. Kontroller, at alle rør i installationen er isolerede og at ingen brandbare isolationsmaterialer er for tæt varme overflader.
7. Kontroller at de elektriske installationer er udført.
8. Fyld vand på anlægget.
9. Afprøv anlæggets enkelte funktioner.
10. Kontroller brændslet, piller ved se på dem, brænde, halm og flis med fugtighedsmåler.
11. Fyld brændsel på og start anlægget i henhold til fabrikantens anvisninger.
12. Kontroller med O₂- eller CO₂-måler og med CO-måler at forbrændingskvaliteten ligger inden for det af fabrikanten anviste..
13. Foretag eventuelt de nødvendige justeringer hvis der er afvigelser fra det anviste
14. Kontakt eventuelt leverandøren.
15. Kør anlægget op på maksimal temperatur for at få ilt og kalk ud af vandet og for at kontrollere, at overkogssikringen virker.
16. Indreguler vandstrømmene og indstil eventuelle stilbare shuntventiler.



Kedler

Fastbrændselkedler, især kedler for skovbrænde og hele halmballer, adskiller sig på et meget væsentligt punkt fra olie- og gasfyrede kedler og fra el-varme - man kan ikke bare slukke og tænde og på den måde tilpasse effekten til behovet.

Automatisk fyrede kedler for piller, flis og halm kan dog i et vist omfang køre on-off i lighed med gas og oliekedler, men der er i regelen en ikke uvæsentlig tomgangsfyring med dårlig forbrændingskvalitet.

Magasinkedler for brænde

Manuelt fyrede magasinkedler kan være konstrueret efter to forskellige principper:

Gennemforbrænding

Gennemforbrænding hvor forbrændingen foregår således, at flammerne passerer op igennem brændselslaget og underforbrænding, hvor forbrændingen foregår på undersiden af brændselslaget og flammerne forlader brændslet uden at passere op igennem brændselslaget.

Underforbrænding kan igen opdeles i flere principper, almindelig underforbrænding, omvendt forbrænding og modstrømsforbrænding.

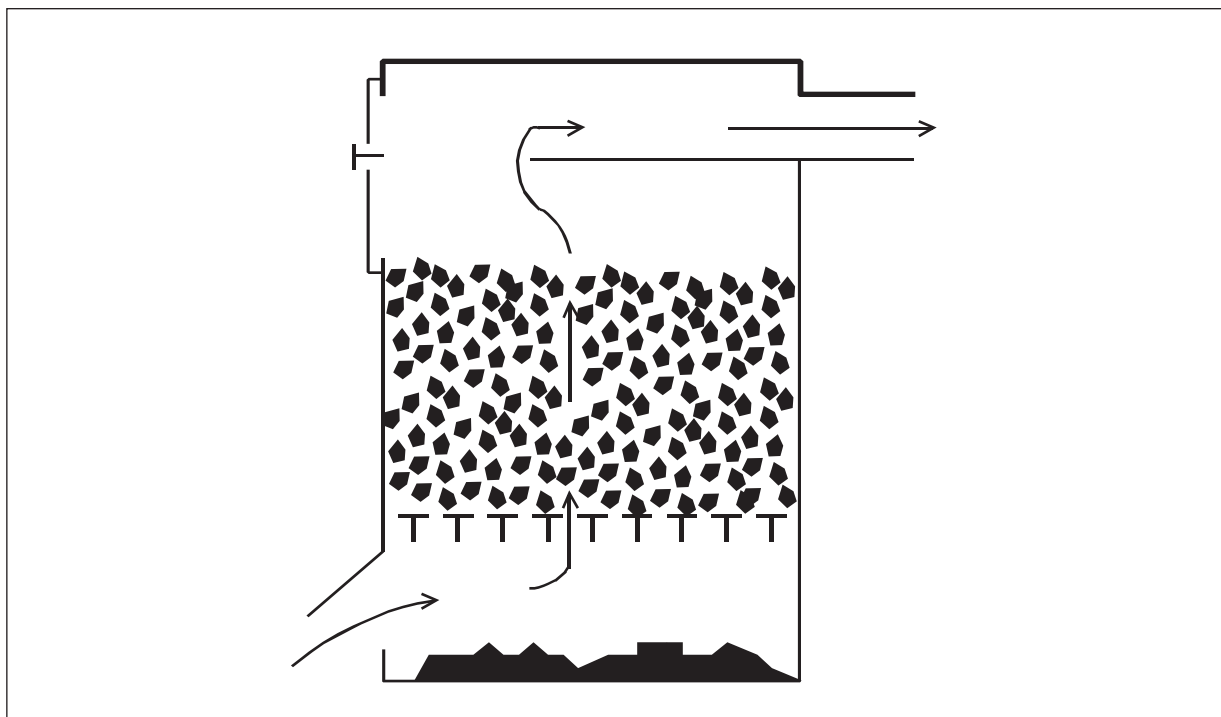
Gennemforbrændingskedler er egnede til forbrænding af gasfrit brændsel som f.eks koks og trækul, men benyttes desværre i vid udstrækning til brænde, som de er aldeles uegnede til.

Når flammerne passerer op gennem brændselslaget, uddrives gasserne af træet, køles til under antændelsestemperatur og forlader kedlen uden at brænde.

Resultatet er brun eller sort ildelugtende røg og nyttevirkning på mellem 35 og 50 %.

Sådanne kedler kan brænde nogenlunde, hvis de »klatfyres« - det vil sige indfyring af ét eller to stykker brænde ad gangen i åbne flammer, således at de udviklede gasser kan brænde helt ud, inden de når at blive kølet af kedlens vandfyldte vægge.

Det betyder, at der skal fyres ca. én gang pr. time og det vil de færreste gå ud i et fyrrum og gøre.



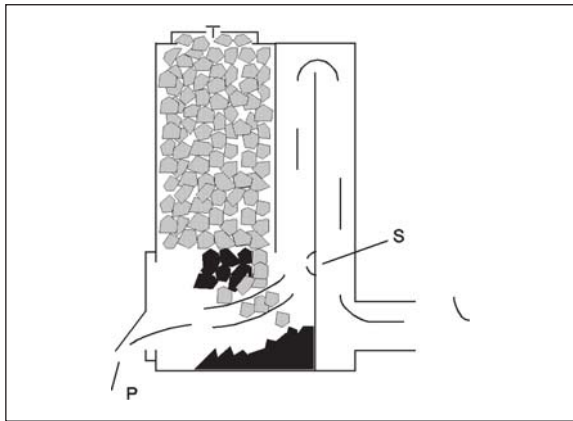
Vedvarende energi

Biobrændsel

Underforbrænding

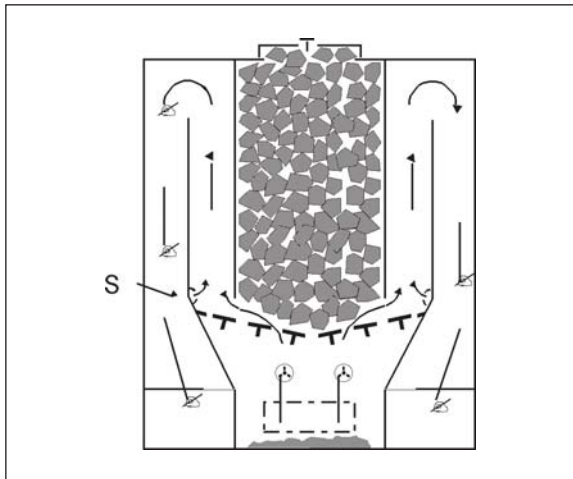
Underforbrændingskedler er egnede til forbrænding af gasholdigt brændsel, men de fleste er bygget med for lille gasforbrændingskammer, eller for dårligt udmuret forbrændingskammer, således at gasserne ikke altid når at udbrænde, før de køles under antændelsestemperatur.

Nogle få fabrikater har dog en særdeles tilfredsstillende forbrænding, men ved een fast indfyret effekt.



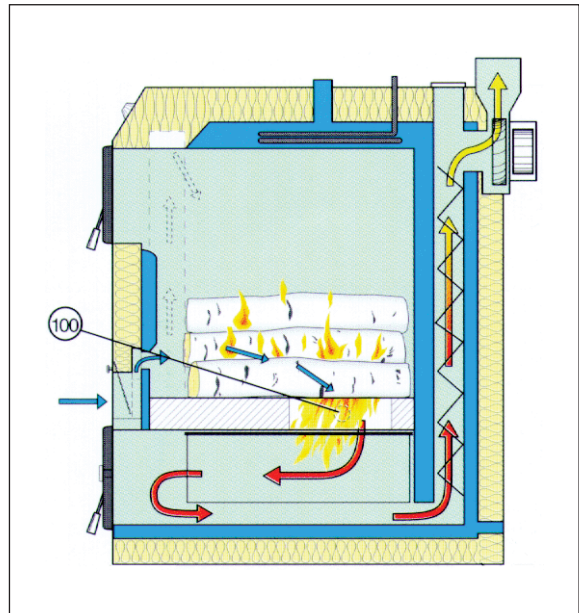
I den viste pladejernskedel passerer primærluften på tværs gennem det nederste brændselslag. De brændende gasser strømmer op bag »vandnæsen« til gasforbrændingskammeret. Ved begyndelsen af gasforbrændingskammeret tilsættes sekundærluft. Forbrændingskvaliteten afhænger meget af, hvor godt gasserne brænder i gasforbrændingskammeret.

Kammeret skal helst være udført med ildfast murværk og den indfyrede effekt skal være tilstrækkelig hele tiden. Derfor må forbrændingen ikke dæmpes med en kedelvandstermostat.

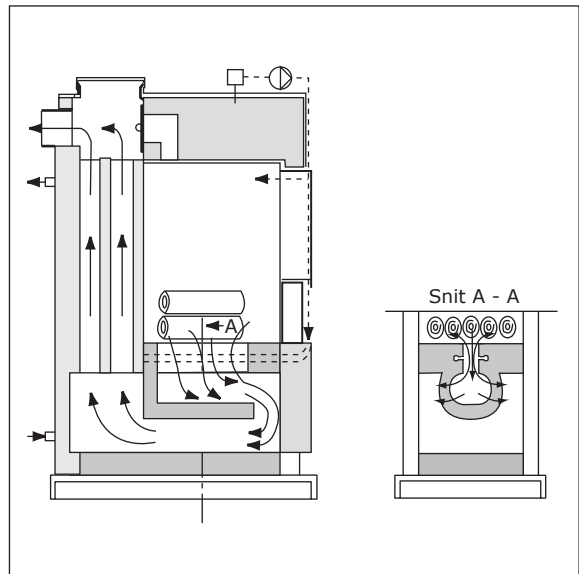


Den viste støbejernskedel er inddelt i sektioner, der hver for sig er en underforbrændingskedel. Ved at afproppe sektioner, kan man afpasse den samlede effekt efter behovet. Men der er sædvanligvis ikke plads til nødvendigt murværk i de enkelte sektioner til at sikre en god forbrænding.

På nogle kedler bliver flammerne kølet for tidligt, hvilket giver emission af uforbrændte gasser og dermed nedsat nyttevirkning.



Kedler for omvendt forbrænding adskiller sig fra almindelig underforbrænding ved at forbrændingsluften passerer ned gennem brændselslaget.

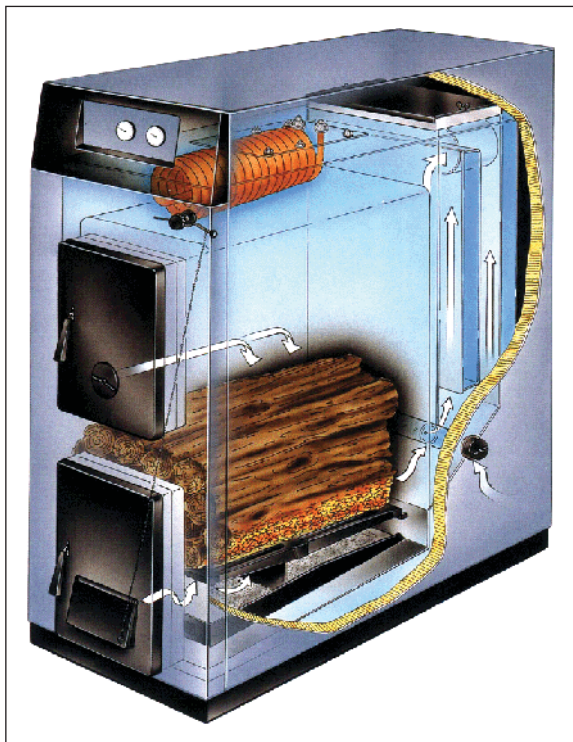


Vedvarende energi

Biobrændsel

Type MB-SOLO MK II

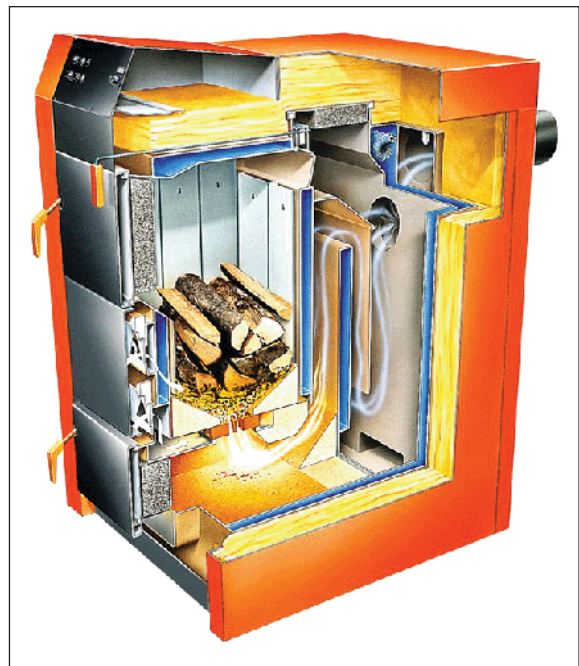
- *Stor varmefflade*
Stor overflade i røgkanalerne og passende lav røggasmodstand sikrer maksimal varmeovergang fra røggassen til kedelvandet ved naturligt skorstensaftræk på 1,5 - 2,0 mmVS.
- *Flere slags brændsel*
MB-SOLO anvendes til fyring med skovtræ, kul (30 - 50 mm) eller koks (Enegekoks/Futures kan dog ikke anbefales til type MB-SOLO).
- *Effektiv forbrænding*
Underforbrænding af træet sikrer en god energiudnyttelse. De store låger letter pålægning af brænde og askeudtagning/rensning.



- *Termostatstyret suge-træk-ventilator*
Sørger for passende luft til forbrændingen og skaber undertryk i fyrboksen. Når træet er brændt ud stoppes ventilatoren og pumpen automatisk af den indbyggede minimumstermostat, der føler temperaturen i røgafgangen.

Herved udnyttes den oplagrede varme i lagertanken bedst. Konstruktionen stiller meget små krav til skorstenstrækket. ventilatoren er let at tage af ved rengøring af løbehjulet.

- *Røgafgang opad eller bagud*
Pænere installation, lettere at indpasse i opstillingsrummet opad en væg (kan også stilles 45° skråt bagud).
- *Let tilgængeligt dæksel*
For rensning af rørrørene.
- *Turbolensplader*
I røgrørene sørger for god afkøling af røggassen, så varmen føres effektivt over i kedelvandet.



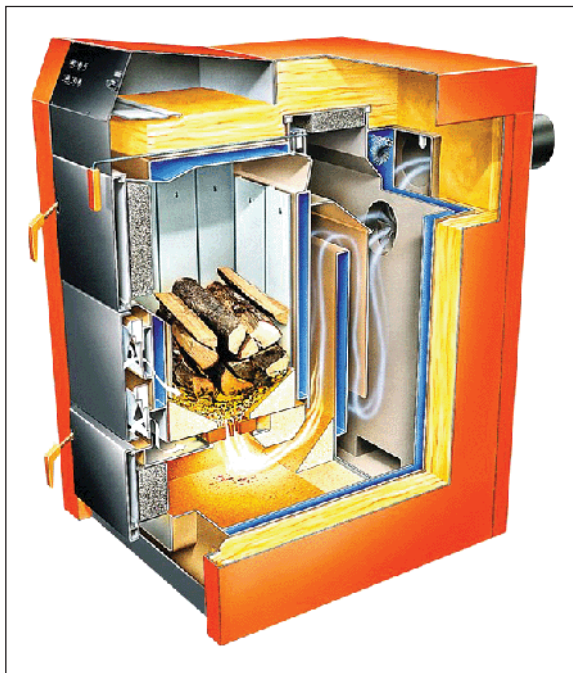
- *Forbrændingslufttilførsel*
Primær- og sekundærluft uafhængig regulerbar.
- *Effektiv luftfordeling giver optimal forbrænding*
Såvel primær- som sekundærluften ledes via luftkanalen ind i fyrboksen med netop den hastighed, der giver en jævn forbrænding. Primærluften ledes ind i optimal afstand fra flammestammen.

Sekundærluften ledes videre igennem den keramiske brændtunnel, hvor den opvarmes og fordeles gennem de to kanaler og luftdyserne, hvorefter den med stor hastighed blæses direkte ind i flammen for at fuldstændiggøre forbrændingen.

Vedvarende energi

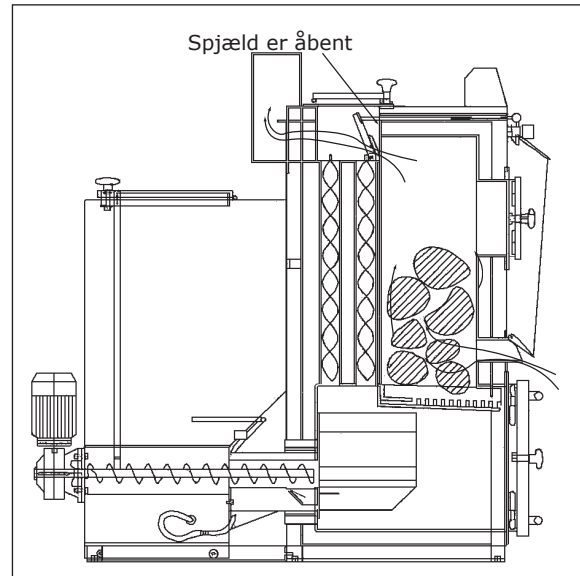
Biobrændsel

- *Tilsluttes varmelagertank*
Kedlens store brændselsmagasin giver høj betjeningskomfort. Brændepåfyldningen afpasses, så brændet netop er udbrændt, når lagertanken har opnået maxtemperatur (ca. 90 °C).



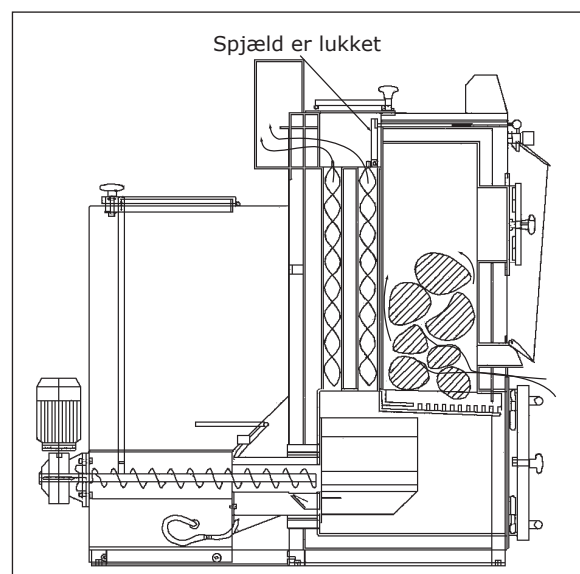
Underforbrændingskedel som får tilført forbrændingsluften ved skorstenens naturlige træk.

Kedlen er fyret med brænde og spjæld i top af kedel er åbent. Kedlen fyres på denne måde som *gennemforbrænding*.



Gennemforbrænding er at primærluften tilføres i bunden af brændet og trækker op gennem brændet sammen med flammerne. Ulemperne ved gennemforbrænding er at der nemt kommer en for røgtemperatur og der ikke kan fyres så meget på kedlen af gangen fordi alt brændet gerne vil brænde på en gang.

Kedlen er fyret med brænde og spjæld i top af kedel er lukket. Kedlen fyres på denne måde som *underforbrænding*.



Underforbrænding er, når flammen tvinges til at blive i bunden af brændet og dermed

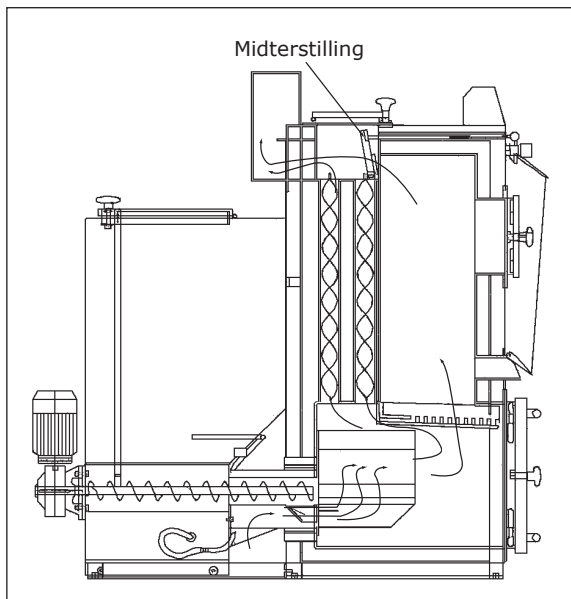


Biobrændsel

brænder det nedefra, ind til der ikke er mere brænde i kammeret. Dette kan give en mere ens længerevarig forbrænding. Ulemperne er at kedlens hedeflade forøges væsentlig og dermed sænker røgtemperaturen for langt ned.

Stokerfyring

Når der fyres med stoker kan røgspjældet stilles i midterstilling så hele kedlens hedeflade benyttes og dermed sænker røgtemperaturen.





Automatisk fyrede kedler og kedler med stokerforsats

Der findes en del kedeltyper for automatisk fyring med træpiller, korn, oprevet halm eller flis med tilfredsstillende forbrænding.

For alle automatisk fyrede kedler gælder, at enten brændslet eller asken - eller begge dele transporteres på én eller anden måde. En snegl, eller skrue som i en kødmaskine, er meget anvendt, enten for at transportere brændslet, som kan være flis, korn, oprevet halm eller savsmuld ind på en rist eller på en herd (ildfast udmuret gulv) eller op i et essestrug, eller ind i eller op i et brænderrør.

Brændslet skubber asken foran sig, til den falder ned i en beholder eller, på større anlæg ned i en transportsnegl.

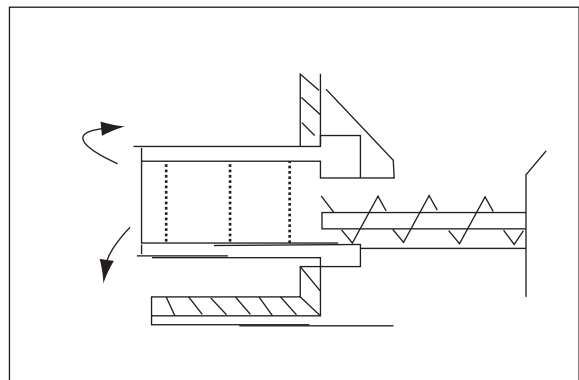
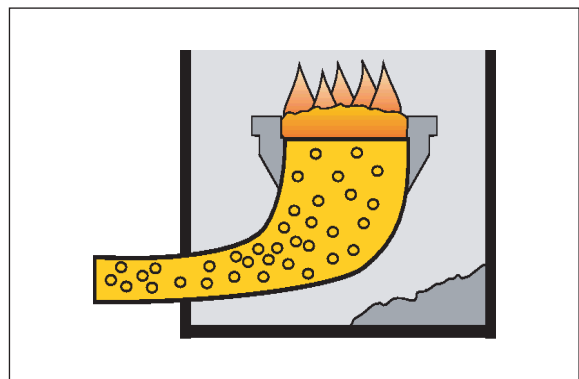
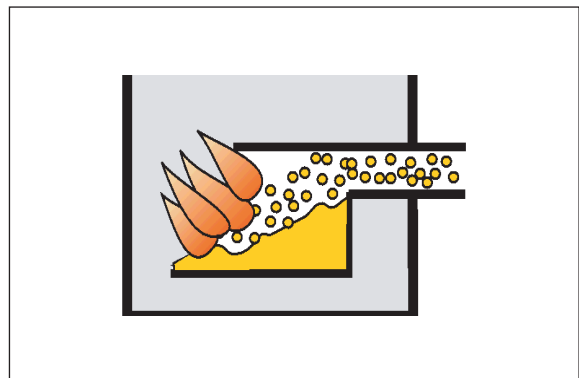
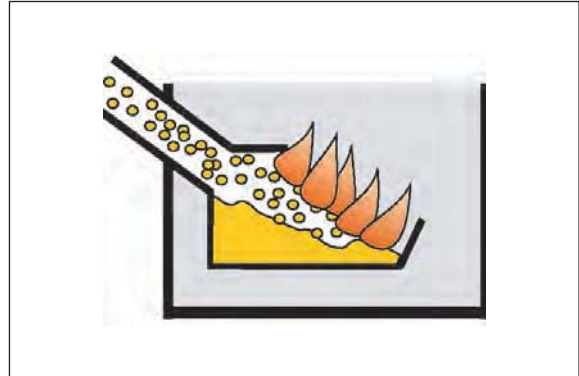
Der kan også være tale om kedler med vandrerist, hvor vandreristen både fungerer som brændseldoseringsudstyr, forbrændingsrist og asketransportør.

Nogle kedler har trapperist, skubberist eller vipperist, eller herdplader i stedet for riste.

Principper

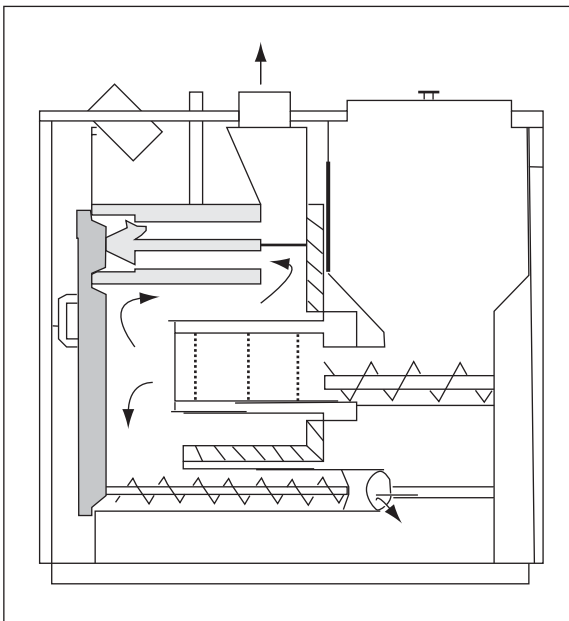
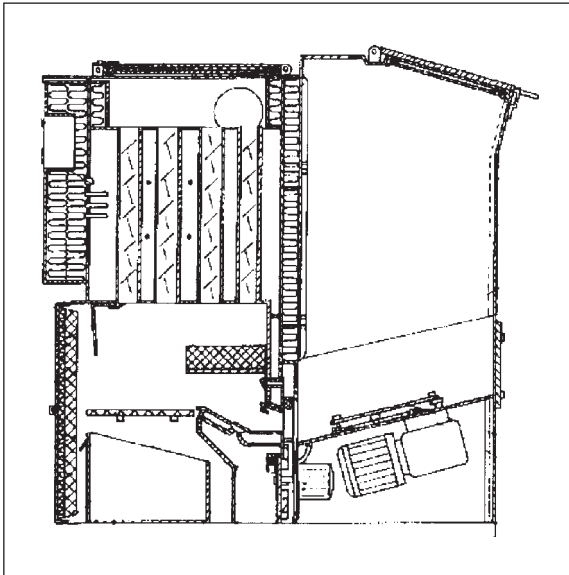
Hvis brændslet kommer ned i eller ind i brændezonen, kan tendensen til tilbagebrand være noget større end hvis brændslet kommer op i brændezonen.

Systemer, hvor brændselsstrengen er afbrudt vil have mindre tilbøjelighed til tilbagebrand end systemer, hvor brændselsstrengen er ubrudt.





Fyringsautomater



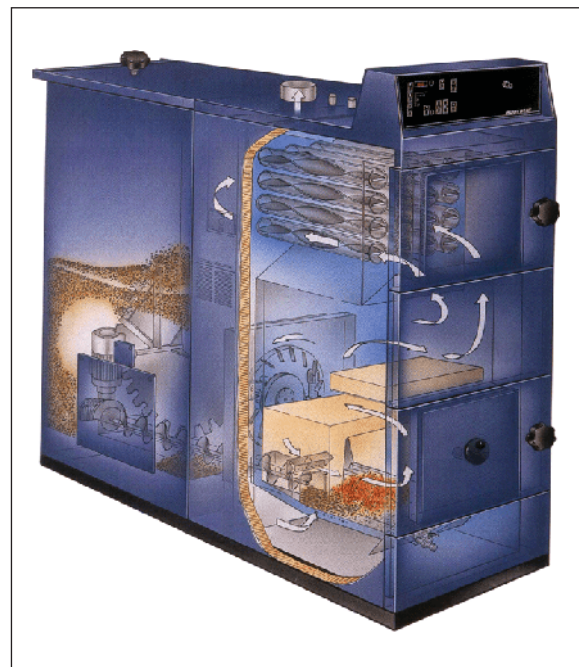
Multi-Heat stokerfyr fra Baxi forbrænder træpiller, korn, træflis, spåner og savsmuld.

Kedlen har et stort brændsels-magasin, som blot skal fyldes 1-2 gange om ugen i den kolde tid. Automatisk fyring sørger nemlig for, at fyret løbende får tilført brændsel efter behov, helt ned til 1 kW.

Denne metode sikrer en høj virkningsgrad på 89 - 91 %. Man kan let stille op og ned for ydelsen, fra 30 - 100 % og der er derfor ikke brug for lagertank.

Kedlen kan også leveres med iltstyring.

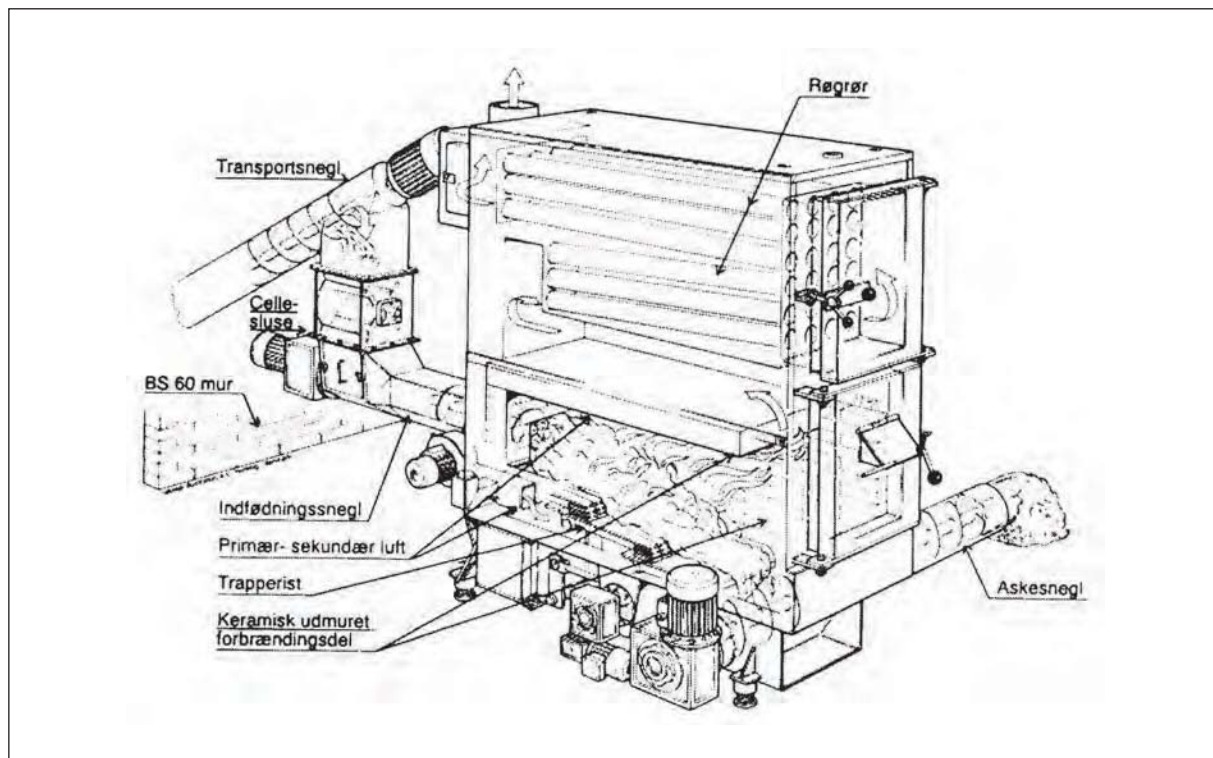
- **Solid kvalitet**
Røggasberørte, vandkølede stålplader i den indvendige kedel er 6 mm tykke og særlig udsatte dele i fyrboksen er af syrefast rustfrit stål.
- **Let at placere i opstillingsrummet**
Røgafgangen går ovenud og kan let føres til skorsten. Lågerne er vendbare og kan åbnes mod venstre eller højre.
- **Styringen**
Er placeret over lågerne og betjenes forfra. Udvaskning og rensning af røgrørerne udføres også let forfra.
- **MULTI-HEAT**
Kan leveres med forskellige størrelser af brændselsmagasin (se tekniske data). Låget til magasinet er vendbart, så der kan påfyldes brændsel bagfra eller fra højre eller venstre side.
- **Træpiller, skovflis og korn**
Er indenlandsk, reproducerbart, miljøvenligt og billigt brændsel, der kan erstatte importeret, dyrere og miljøbelastende brændsel (olie). Når der fyres med skovflis skal der i magasinet være monteret en omrører, som vist på tegningen.





Biobrændsel

På figuren herunder er vist et Reka flisfyrringsanlæg.



Flisen føres ind i en transport- og en indførningsnegl fra flissiloen og ind på risten, hvor forbrændingen sker. Ristens bevægelse fører asken mod askefaldet og videre ud med askesneglen. Røggassen køles ved at passere røgrørene, som er omgivet af kedelvand.





Biobrændsel

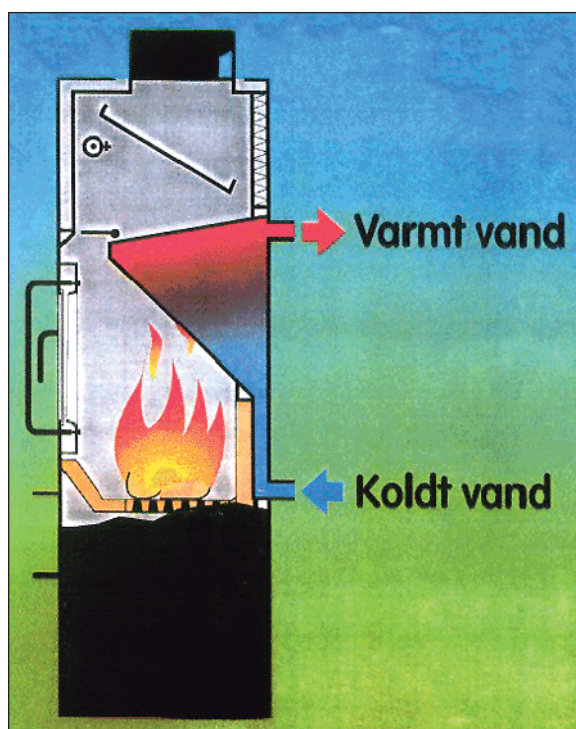
Brændeovne med vandtank (»gris«)

For boliger med meget lavt energibehov og hvor man alligevel ønsker at benytte brændeovne, kan en god løsning være en brændeovn med »gris«.

Ovnen selv opvarmer det rum, ovnen er placeret i og en del af de tilstødende rum, hvis det er muligt, mens vandsystemet dels benyttes til opvarmning af varmt brugsvand, dels til opvarmning af de rum, der ikke kan opvarmes direkte.

Ovnen kan suppleres med solvarme eller andet for produktion af varmt brugsvand uden for fyringssæsonen.

En sådan løsning vil være væsentlig bedre end klatfyring i en gennemforbrændingskedel placeret i et fyrrum, hvor overfladetabet fra kedlen ikke udnyttes.

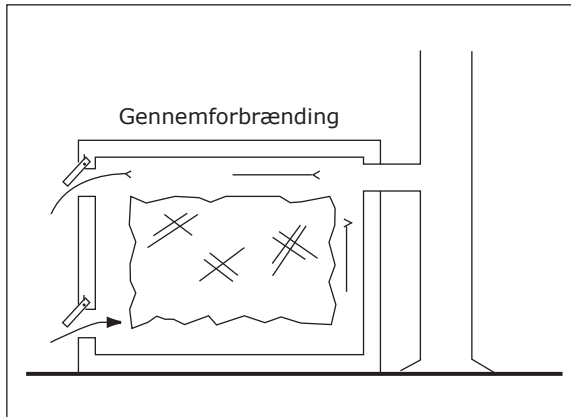




Magasinkedler (portionskedler) for halm

Gennemforbrænding

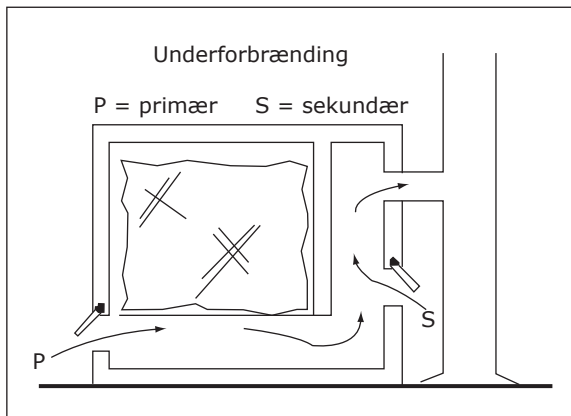
Gennemforbrændingen karakteriseres ved luftindtagetets placering.



Primærluft tilsættes i den ene ende og røggangen er placeret i den modsatte ende af kedlen. Sekundærluft tilsættes øverst i kedelrum. Som for brændekedler er kedlen uegnet

Underforbrænding

Underforbrænding er ristefyring, hvor primærluft tilsættes under brændslet og sekundærluft tilsættes, hvor brændselsmængden ophører. Kedeltypen kan anvendes til halm-baller og brænde.

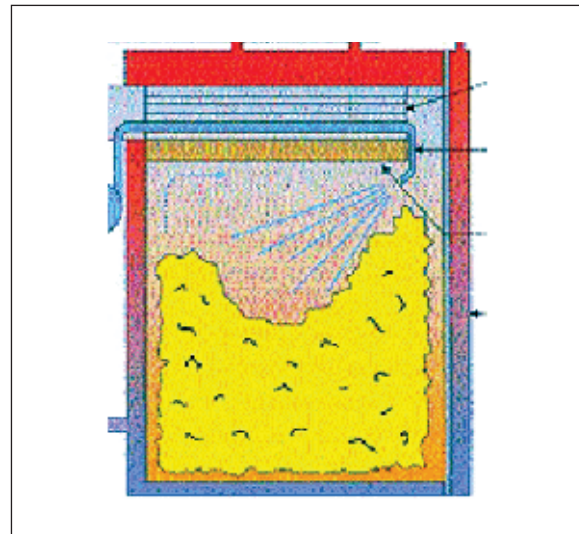


Forbrændingskvaliteten vil i høj grad afhænge af, hvor godt »gasforbrændingskammeret« efter sekundærtilsætningen er.

Kedlens effektivitet vil afhænge af, hvor meget hedeflade, røggasserne skal passere efter gasforbrændingskammeret, inden røgen føres til skorstenen.

Overfladeforbrænding

Primær- og sekundærluft tilsættes via blæsetryk ovenfra lodret eller skråt ned i brændslet fra den ende, hvor røggasserne forlader brændselsmagasinet. Her tilsættes sekundærluft.



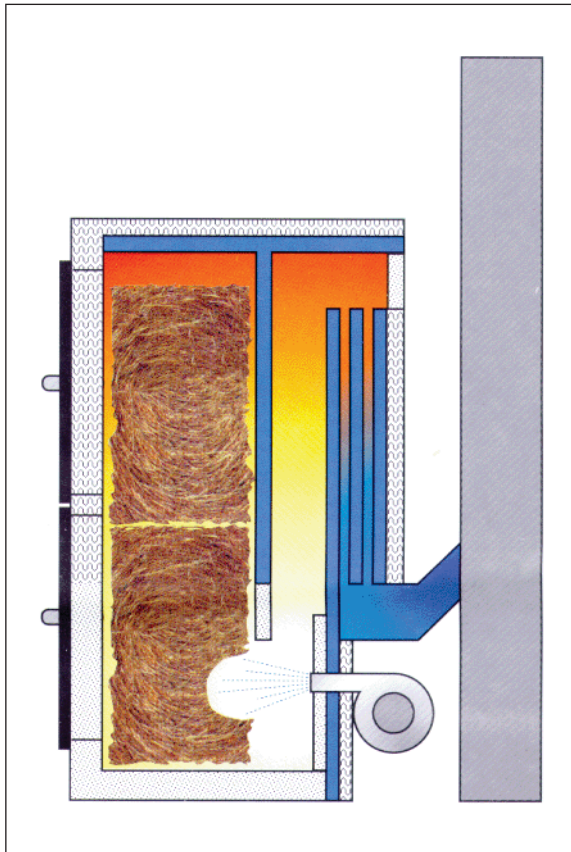
Som for underforbrænding afhænger forbrændingskvaliteten i høj grad af, hvor godt »gasforbrændingskammeret« efter sekundærtilsætningen er.

Kedlens effektivitet vil afhænge af, hvor meget hedeflade, røggasserne skal passere efter gasforbrændingskammeret, inden røgen føres til skorstenen.



Modstrømsforbrænding

Primær- og sekundærluft tilsættes gennem samme luftdyser. Ved passende blæsertryk og afstand mellem dyser og brændsel vil en del af luften fungere som sekundærluft.



Som ved underforbrænding er gasforbrændingskammeret og hedeflader afgørende for forbrændingskvalitet og effektivitet.

Alle kedler

Fyrrummets størrelse

En gammel dimensioneringsregel siger, at den indfyrede effekt ikke må overstige 0,3 - 0,4 kW pr. liter fyrboks, eller 300 - 400 kW pr. m³ fyrboks. Jo mere træk, man har, jo mindre kan fyrboksen være i forhold til den indfyrede effekt.

I en kedel med utilfredsstillende forbrænding, kan forholdene i reglen forbedres ved at reducere den indfyrede effekt, eller ved at øge trækket, f.eks. med en røggassuger.

Også udmuring af fyrboksen kan være en fordel, men man må i reglen reducere den indfyrede effekt samtidig, da udmuringen gør fyrboksen mindre.

Hedeflade

Hedeflader kan opgives i forhold til indfyret effekt og i forhold til afgivet effekt. Den afgivne effekt afhænger af en række forhold, der er variable, mens den indfyrede effekt kun afhænger af den indfyrede brændselsmængde.

For alle kedler gælder, at hedeflader skal være afpasset efter den indfyrede effekt, således at man kan holde en røgtemperatur så lav som muligt uden at få kondens i skorstenen.

Sammenligner man med olie- og gaskedler skal hedeflader være ca. 20 % større pr. indfyret kW. Jo mere vand, der er i brændslet, jo større skal tillægget være.

For biobrændsler vil en indfyret effekt på ca. 14 kW pr. m² hedeflade være passende. Men der er vel at mærke tale om den effektive del af hedeflader, ikke den del, der er dækket af murværk og ikke den del, der ikke bestråles af flammerne eller passerer af de varme røggasser.

Hedeflader kan være opbygget af pladejern eller støbejern eller af kombinationen pladejern- røgrør. For dampkedler vil vandrørskonstruktioner hyppigt være valgt.

Pladejernshedeflader vil ofte være påsvejet fladjernsribber for at øge hedeflader på en relativt billig måde.

Vandkøling, luftkøling og isolering

Fyringsanlæggets formål er at overføre brændslets energiindhold til anlæggets vand.

Alle varme dele i og omkring fyrboksen, hvor forbrændingen foregår, skal være vandkølede, eventuelt med murværk mellem de vandkølede dele og ilden for at sikre en ordentlig forbrænding.

Alle vandkølede dele skal være isoleret udvendigt. Spildvarmen fra ikke-vandkølede dele kan ikke rummes i forbrændingsluften. Forholdsvis simple regnestykker, hvori bl.a. vil indgå luftens varmfylde ville vise dette.

Man kan også se på prøvningsresultater, der viser, at høj effektivitet kun opnås på fuldt vandkølede, velisolerede, velbrændende konstruktioner.



Biobrændsel

Retardere

Hedefladens effektivitet kan øges noget ved at tvinge røgen ud mod fladerne, f.eks. ved hjælp af retardere. Retardere kan f.eks. være kæder ophængt i lodrette røgrør, eller snoede eller zig-zagede pladejernsstrimler anbragt i røgrørene.

På enkelte større kedler er retarderne udrustet med bevægeaggregater, således at retarderne kan holde hedefladen ren.

Retardere kan i nogle tilfælde vanskeliggøre rensning af kedlen og vil under alle omstændigheder øge røgmodstanden, således at der bliver større trækbehov.

Akkumuleringskedler

Halmfyrede kedel kan være såkaldt akkumuleringskedel med et stort vandindhold, men uden separat akkumuleringsstank.

Hvis en sådan kedel køles til temperaturer lavere end røgdugpunktet på omkring 55 °C kan levetiden risikere at blive forkortet meget på grund af tæring fra røggassiden.

Separate akkumuleringsstanke kan man køle væsentligt længere ned uden risiko for tæring.

Når man sammenligner økonomien for en traditionel kedel med akkumuleringsstank med økonomien for en akkumuleringskedel, skal man derfor tage i betragtning, at den anvendelige akkumuleringskapacitet for den traditionelle kedel er ca. 50 % større end akkumuleringskapaciteten for en akkumuleringskedel.

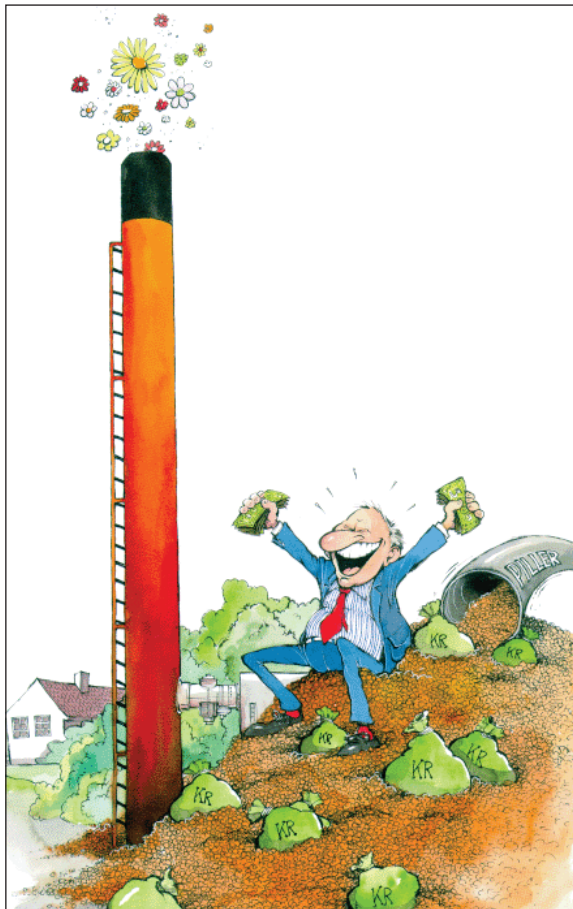


Skorstensforhold

Ved olie- og gasfyring har skorstenen - bortset fra skorstene til atmosfæriske gasbrændere - udelukkende den funktion at fjerne røggasserne fra kedlen. Forbrændingen drives af forbrændingsluftblæseren.

Tendensen går mod mindre lysninger, lettere materialer og forberedelse til kondenserende drift.

For skorstene til fyringsanlæg for biobrændsler er forholdene lidt anderledes.



Ved mange anlæg er skorstenstrækket den drivende kraft i forbrændingssystemet. Dannes der sod og tjære ved forbrændingen, indsnævres skorstenslysningen, hvorved trækket forringes og dermed også forbrændingen, således at der dannes endnu mere tjære og sod osv.

På anlæg, hvor forbrændingen drives af en forbrændingsluftblæser eller en røggassuger, har skorstenstrækket mindre betydning, men skal dog stadig være tilstrækkeligt.

Bygningsreglementet stiller krav om såvel mindste som største lysningsareal i forhold til den indfyrede effekt.

I tilfælde af, at flere fyringsanlæg skal tilsluttes samme skorsten og skal brænde samtidigt, må det tilrådes at lade hvert fyringsanlæg tilslutte sit eget løb i skorstenen. Såvel for at variationer i driften på det ene anlæg ikke skal påvirke driften på det andet, som af hensyn til bygningsreglementets krav til største og mindste lysning i forhold til den indfyrede effekt.

En undtagelse kan dog i reglen gøres med brændeovne tilsluttet samme løb som en olie- eller biobrændselfyret kedel, dog forudsat, at Bygningsreglementets krav overholdes.

Skorstene

Skorstene skal være så høje, at der opnås tilstrækkelig træk. Desuden skal skorstene føres så højt op i forhold til bygningers tage og omgivelser, at røgen hurtigt spredes og fortyndes i atmosfæren.

Skorstenslysning

Skorstensens lysningsareal skal passe til røgmængden. Lysningen skal være tilstrækkelig stor til, at skorstenen kan transportere hele røgmængden - og desuden skal der være plads til afsætning af sod.

På den anden side må lysningen ikke overdimensioneres, da det kan resultere i kondens og løbesod.

Fyring med fast brændsel kræver større lysning end oliefyring.

Lysningsarealet bør ligge mellem de grænser, som er angivet i figur 107 (SBI-anvisning nr. 189, side 97) for oliefyring og fastbrændselsfyring. Ved cirkulær lysning svarer grænserne til de grænser for diameteren, som er angivet i figur 108 (SBI-anvisning nr. 189, side 98).

Dimensioneringen baseres på den indfyrede effekt af det tilsluttede ildsted eller den samlede effekt af de tilsluttede ildsteder. Er der sluttet både olie- og fastbrændselsfyrede ildsteder til samme skorsten, kan lysningsarealet vælges som kompromis mellem angivelserne for oliefyring og fastbrændselsfyring.

I almindelighed vil det dog være en funktionelt bedre løsning at slutte ildstederne til hver sin skorsten.

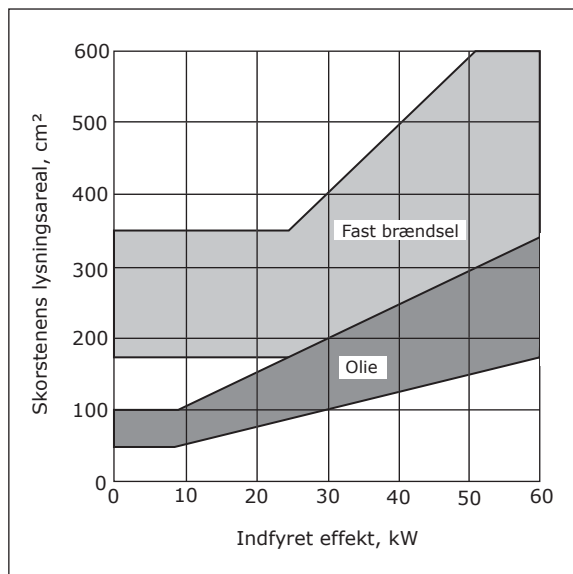
Lysningsarealet i skorsten og rørør, hvortil der sluttes et åbent ildsted, skal være mindst 300 cm². Hvis ildstedets frie åbning ikke er større end 2500 cm², kan lysningsarealet nedsættes til 175 cm².

Ved den frie åbning forstås den åbning, hvorigennem forbrændingsluften strømmer ind til fyrstedet. Er ildstedet åbent til flere sider, måles arealet som summen af arealerne af de til hver side vendende åbninger.

Lysningsarealer på 300 cm² og 175 cm² svarer til diametre på henholdsvis 195 mm og 150 mm.

Lysningsareal

Grænser for små skorstenes lysningsareal ved oliefyring og fastbrændselsfyring i afhængighed af den samlede, indfyrede effekt ved maksimal belastning.



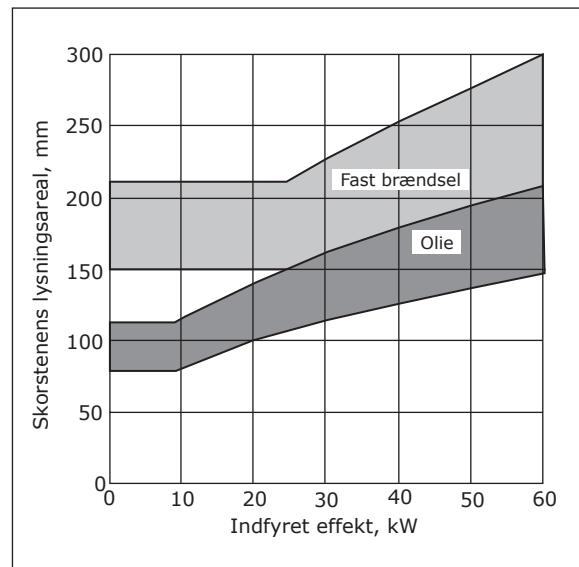
107

De kraftigt markerede vandrette streger angiver mindstekravene i Småhusreglementet. Figuren gælder for lukkede ildsteder.

Skorstensdiameter

Grænser for indvendig diameter af små skorstene med cirkulær lysning ved oliefyring og fastbrændselsfyring. De kraftigt markerede vandrette streger angiver mindstekravene i Småhusreglementet.

Figuren gælder for lukkede ildsteder.



108

Eksempel

En oliefyret centralvarmekedel, der forbruger 2 liter olie i timen, når brænderen er i gang, har en indfyret effekt på 20 kW. Som angivet på figuren bør diameteren ikke vælges under 100 mm og ikke over 140 mm. Er der også tilsluttet en brændeovn med et maksimalforbrug på 4 kg træ i timen, er den samlede effekt 36 kW, og diameteren kan f.eks. vælges til 175 mm.

Højde

I ildsteders forbrændingsrum og i hele aftræksystemet bør der være undertryk, ikke alene af hensyn til røgtransporten, men også af hensyn til sikkerheden mod at røg siver ud fra ildstedet, røgrøret eller skorstenen til de omgivende rum. Undertrykket skabes af opdriften i den varme røg i skorstenen.

Opdriften vokser dels med røgteperaturen, dels med skorstenshøjden. Ved en oliefyret centralvarmekedel skal skorstenen suge røgen ud af kedlen, mens oliebrænderens blæser sørger for tilførslen af forbrændingsluft.

Ved fyring med fast brændsel skal skorstenen ikke alene suge røgen ud af ildstedet, den skal også suge forbrændingsluften ind i ildstedet gennem luftspjældet.



Biobrændsel

Ovne og især centralvarmekedler for fast brændsel kræver derfor ofte højere skorstene end oliefyrede kedler.

Skorstenshøjden regnet fra gulvet, hvorpå ildstedet står, bør så vidt muligt være mindst 5 m. Ved fastbrændselskedler og andre ildsteder, der skal have højere skorstene for at fungere sikkert, bør man følge kedelproducentens anvisninger om minimumshøjden.

Når et hus udsættes for vindpåvirkning, opstår der i vindsiden overtryk på facaden og tillige på den nederste del af taget ved taghældninger større end ca. 30°.

Skorstenen bør være så høj, at munden kommer uden for overtrykszone. Over flade tage samt i læsiden af skrå tage opstår der hvirvler, som vil kunne føre røgen ned i det niveau, hvor mennesker færdes og dermed give anledning til røgluftgener. Skorstenen bør derfor udmunde over hvirvelzonen.

Som tommelfingerregel benyttes normalt at føre skorstenen ca. 1 m op over tagryggen eller den højeste del af taget. Skorstensmunden bør under alle omstændigheder ikke placeres lavere end tagets højeste punkt.

Er skorstenen anbragt på en lav tilbygning, skal skorstenshøjden fastlægges efter husets største taghøjde.

Udførelse

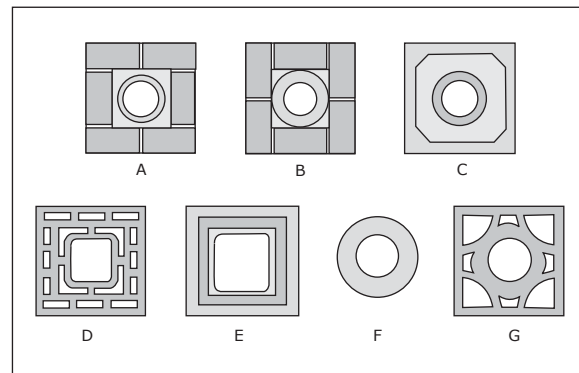
Murede skorstene har i traditionel udførelse en lysning på 252 x 252 mm og en vangetykkelse på 108 mm (1/2 sten) inde i huset og 228 mm (1 sten) i piben.

Denne udførelse anvendes sjældent i nyt byggeri - dels fordi lysningen er for stor, dels fordi isoleringen og tætheden er for ringe.

I stedet udføres murede skorstene enten af støbte elementer, der eventuelt kan skalmures, eller som traditionelle skorstene af teglsten, men med en foring, der isolerer og indsnævrer lysningen.

Såvel skorstenselementer som foringsrør og stålskorstene skal have MK-godkendelse, og udførelsen (montagen) skal være i overensstemmelse med fabrikantens anvisninger.

Figuren viser eksempler på skorstenstværsnit. Der findes andre skorstenselementer end de viste. Fælles for dem alle er, at de skal have MK-godkendelse.



- Tyndvægget foring, der nedsænkes i eksisterende muret skorsten.
- Tykvægget foring, der indmures under opførelsen af muret skorsten.
- Pimpstensbetonelement, hvor hulrummet udfyldes med mager letklinkerbeton.
- Teglbetonelement med luftfyldte hulrum.
- Teglbetonelement med indlagt mineraluld.
- Stålskorsten
- Pimpstensbetonelement med luftfyldt hulrum

Rensning

Skorstene renses normalt fra toppen. I huse med hanebåndsspærrefag kan det dog være hensigtsmæssigt at indrette skorstenen sådan, at den renses fra en renslem på hanebåndsløftet.

Der skal tages hensyn til, at skorstensfejeren har sikker adgang til skorstenen. Det kan være nødvendigt at anbringe tagtrin på taget og forsyne høje skorstenspiber med korrosionsbeskyttede stige-trin.

Anbringelse af stige-trin er kun mulig på solide pibekonstruktioner. Stige-trin kan ikke fastgøres på skorstene, der opføres af støbte elementer og de kan kun indmures forsvarligt i murværk, når dettes tykkelse er mindst 1 sten.

Den sod, som fejes ned ved rensningen, skal kunne udtages gennem en renslem ved bunden af skorstenen. Står en stålskorsten direkte på et ildsted, fejes soden ned i ildstedet, og dette renses samtidig med skorstenen.



Biobrændsel

Er en skorsten ikke ført lodret op, kan det være nødvendigt at anbringe ekstra rens-
elemme.

Til murede skorstene anvendes dobbelte rens-
elemme af støbejern.

Afstanden til brændbart materiale skal fra
stålskorstene og murede skorstene være
mindst 100 mm. fra renslemme mindst 200
mm. Afstande måles til den udvendige side.

Bjælker, spær og trappevanger kan dog
anbringes direkte op ad murede skor-
stensvanger, når vangerne er mindst 228 mm
tykke eller skorstenen er udført i tilsvarende
isoleret konstruktion, f.eks. som elementskor-
sten med mindst 108 mm skalmuring eller
som muret skorsten med 108 mm vanger og
skorstensføring og isoleret fra træværket med
mindst 20 mm mineraluld.

Kanten af brændbare beklædninger, der er
højst 30 mm tykke, kan anbringes umiddel-
bart op til murede skorstene. Afstanden til
stålskorstene skal være mindst 50 mm.

Stråtag

I forbindelse med tagdækninger, som ikke kan
klassificeres som klasse T tagdækning, f.eks.
stråtag, skal skorstene udføres og opsættes
på en sådan måde, at der opnås tilstrækkelig
sikkerhed mod brand.

Murede skorstene skal fra mindst 300 mm
under taget og opefter være af mindst 228
mm murværk eller af godkendte skorstensele-
menter, som er skalmurede med mindst 108
mm mur.

Murværket skal under taget og op igennem
dette beskyttes mod revnedannelser med et
mindst 30 mm armeret pudslag.

Stålskorstene skal fra mindst 300 mm under
taget og opefter føres igennem en skakt med
en diameter, som mindst er 200 mm større
end skorstenens diameter.

Skorstene inden for en afstand af 6 m fra et
stråtag eller andet let antændelig tagmateri-
ale skal føres mindst 0,8 m op over tagryg-
ningen og bør ikke forsynes med skorstenstage,
skorstenshætter, gnistfang og lignende, da
disse foranstaltninger kan medføre øget risiko
for brandspredning, hvis der opstår en skor-
stensbrand.

Brandsikring af stråtage er nærmere omtalt i
Brandteknisk Information nr. 29, Brandsikring
af stråtage, Dansk Brandteknisk Institut, med
tillæg af 11. november 1998.

Skorstenstyper

Små skorstene

Skorstene er traditionelt bygget af mursten,
men de senere år er man begyndt at bygge
skorstene i færdige moduler bestående af
pimpsten eller stål.

Skorstene, som modtager aftræk fra ildsteder
med en indfyret effekt på mindre end 120 kW
og skal i dag opføres efter bygningsreglemen-
terne fra 1995 og 1998 samt SBI-Anvisning
189, samtidig med at de skal være M/K-god-
kendte.

Store skorstene

Skorstene, som modtager aftræk fra kedler
på over 120 kW eller en temperatur på over
350 °C, skal opføres som store skorstene
- det vil sige at de i hvert enkelt tilfælde skal
beregnes med hensyn til røgspredning og
strømningsforhold.

Disse beregninger foretages normalt af den
projekterende ingeniør ud fra de krav, den
enkelte kommune opstiller.

Et yderligere krav til store skorstene er, at de
skal være forsynet med en flydende kerne,
som ikke er i forbandt med den yderste
vange. Disse kan være udført i pimpsten eller
stål.

Skorstene, der modtager aftræk fra halmfy-
ringsanlæg, skal uanset indfyret effekt, forsy-
nes med en kerne, der kan modstå vekslende
og vedvarende belastninger med røgtempera-
tur på over 350 °C ved indløbet i skorstenen.
(BTV 22).

Til disse mindre gårdanlæg benyttes på grund
af prisen normalt modulskorstene med svøm-
mende kerne i pimpsten.

Hvor der fordres højder over 12 meter, går
man over til deciderede industriskorstene.
Disse består normalt af en ydre stålkappe
med et flydende inderrør.



Skorstensfunktion

Naturligt træk

Trækket i en skorsten opstår ved den vægtforskelle, der er på den varme røg og den kolde luft udenfor.

Trækket vil være afhængig af:

- Skorstenens højde
- Skorstenens isolering
- Skorstenens dimension
- Skorstenens modstandstal
- Røggassens temperatur
- Røggassens sammensætning
- Udeluftens temperatur

Ved fyring med biobrændsler i mindre anlæg uden blæserstyring har skorstenen to funktioner, dels at fjerne røggasserne fra ildstedet, dels at sørge for den fornødne forbrændingsluft til ildstedet.

Det er derfor vigtigt, at skorstenen er dimensioneret korrekt og har den rette højde.

Som udgangspunkt bør man benytte Bygningsreglementets krav til såvel lysningsareal som højde.

De fleste ovn- og kedelfabrikanter oplyser i dag det nødvendige trækbehov til deres ildsted, hvorefter det er nemt at få skorstensfabrikanten til at lave en beregning.

Følgende oplysninger er nødvendige for en skorstensberegning:

- Forventet skorstenshøjde
- Indfyret effekt
- Røgrørdimension
- Antal knæk på røgrøret
- Forventet røgtemperatur
- Forventet O₂% (CO₂ %)

	1.	2.	3.
Indfyret kW	< 5 meter	5 til 10 meter	> 10 meter
10 kW	130 mm. Ø	100 mm. Ø	80 mm. Ø
20 kW	130 mm. Ø	130 mm. Ø	100 mm. Ø
30 kW	150 mm. Ø	130 mm. Ø	130 mm. Ø
40 kW	170 mm. Ø	150 mm. Ø	130 mm. Ø
50 kW	200 mm. Ø	150 mm. Ø	130 mm. Ø
60 kW	200 mm. Ø	170 mm. Ø	150 mm. Ø
80 kW	225 mm. Ø	200 mm. Ø	170 mm. Ø
100 kW	250 mm. Ø	200 mm. Ø	170 mm. Ø
120 kW	300 mm. Ø	225 mm. Ø	200 mm. Ø

Skorstensdimensionering for fyrede skorstene

Kolonne 1 »passer« samtidig til fastbrændsel, bortset fra at bygningsreglementet ikke tillader lysninger til fastbrændsel på under 150 mm.

Ovenstående skema bør kun bruges som vejledende, idet der kan være faktorer, som gør, at skemaet ikke passer. Det er derfor klogt at kontakte skorstensproducenten for at få en eksakt beregning.



Biobrændsel

Beregning af tryktab

Tryktabet afhænger primært af følgende forhold:

Volumenstrøm

Volumenstrømmen (flowet) har overordentlig stor betydning for tryktabet. Hvis man fordobler flowet, firedobles tryktabet. Hvis volumenstrømsøgningen udelukkende skyldes temperaturen, er virkningen knap så drastisk (ca. en fordobling).

Tværsnitsareal

Jo snævrere passage, jo større tryktab. Faktisk kan en halvering af arealet på et rør forårsage en seks- eller syv-dobling af tryktabet.

Transportlængde

Tryktabet i et lige rør er proportionalt med rørets længde.

Ruhed

Rørets indvendige ruhed spiller også en rolle. En muret kanal, som jo er temmelig ru, vil rundt regnet give 50 % større modstand end et stålrør.

Forløb

Alle knæk og indsnævring som f. eks. Cykloner og røgekølere giver ekstra modstand. Derfor er det vigtigt, at f.eks. røgrør har så lige et forløb som muligt.

Skorstensmunding

For god ordens skyld skal det også nævnes, at stømningens afgangshastighed skal betragtes som et tab. Det kan altså ikke nytte at montere en snæver udblæsningsdyse på f.eks. en skorsten.

Hvorledes skorstenstrækket kan afhænge af røgtemperatur, udetemperatur og skorstenshøjde fremgår af de to følgende sæt kurver.



Ydre påvirkninger

Uheldig placering af skorstenen kan under ugunstige vindforhold have følger, som kan være yderst ubehagelige.

Man kan ikke altid tage for givet, at en skorsten vil fungere under alle forhold, selv om bygningsreglementets krav er opfyldt.

Man skal derfor være opmærksom på nærliggende høje bygninger og træer, når man fastlægger sin højde på skorstenen.

Ildsteder, der fungerer ved naturligt træk, er meget følsomme over for vindpåvirkninger, idet turbulens omkring skorstenen kan give nedslag.

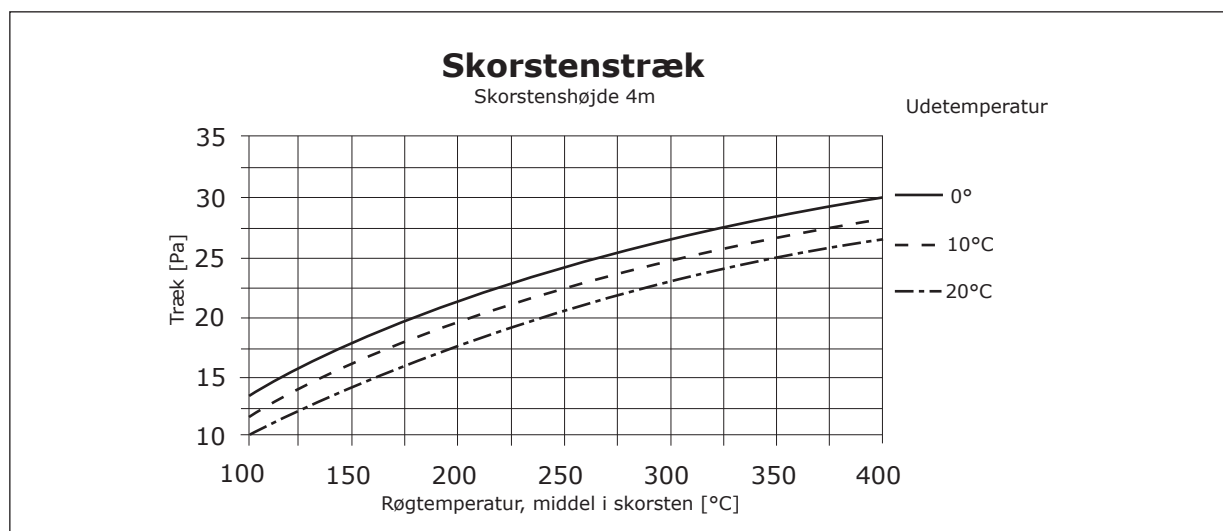
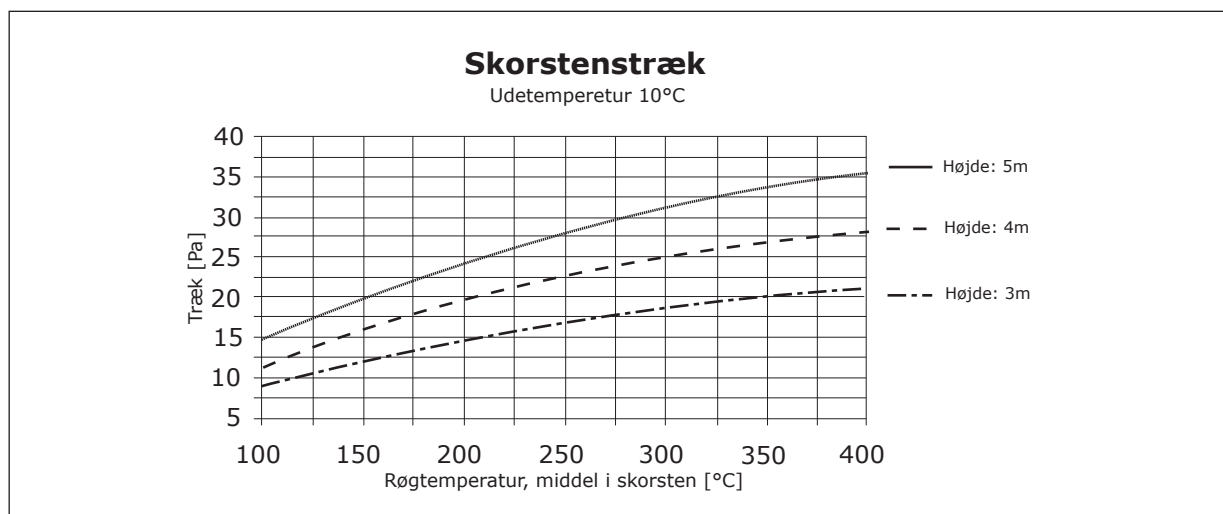
Omvendt kan vindens påvirkning hen over piben give en ejektoreffekt, således at forbrændingen vil foregå med et større luftoverskud end beregnet og dermed en dårligere økonomi.

Vindnedslag eller manglende træk kan afhjælpes ved hjælp af en suger og i enkelte tilfælde en skorstenshætte, men det må dog anbefales, hvis det er muligt, at forøge skorstenshøjden.

Forøget træk kan til dels afhjælpes med en trækstabilisator, som via et lod tilpasser sig trækket i skorstenen.

Vindpåvirkninger behøver ikke kun at være generende omkring skorstenen, men kan også give sig udslag i fyrrummet, hvis dette er placeret enten i læ- eller vindside af huset uden aflastningsventil.

Luftforbrugende apparater som emhætter og klimaanlæg kan også have en indflydelse på ildstedets funktion, og det er derfor vigtigt, at man sørger for erstatningsluft.





Biobrændsel

Kondens

Utilsigtet kondens opstår, når røgtemperaturen bliver for lav i skorstenspipen - og dette hænger selvfølgelig nøje sammen en ukorrekt dimensionering eller manglende isolering af skorstenen.

Det er forholdsvis simpelt at undgå på et olie-fyret anlæg, hvor man kender den indfyrede effekt, og denne er konstant.

Vores emne er biobrændsler, og her afhænger dugpunktet af indfyrimåde, indfyrimængde, luftoverskud samt kedlens evne til at optage den indfyrede effekt.

Man bør derfor altid efter endt indregulering af et anlæg foretage følgende målinger: Røggastemperatur og O₂ %. Dugpunktet kan derefter aflæses i diagrammet.

Målingerne foretages normalt i røgrøret umiddelbart efter kedlen, men da det er temperaturen ved skorstenstoppen, der er afgørende for, om man får kondens, må man trække den forventede afkøling før skorstenstop fra.

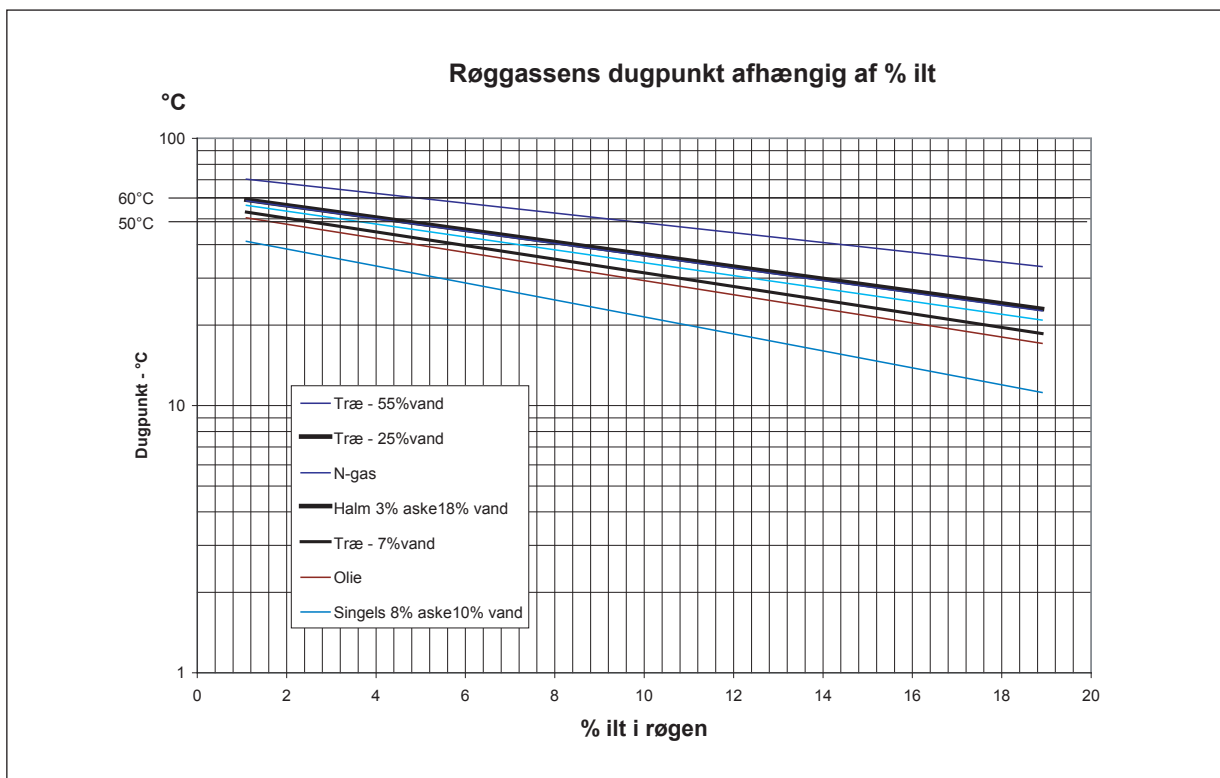
Eventuelt må man foretage måling af temperatur i selve skorstenstoppen.

Hvis der på grund af store røggasmængder i opstartfasen er valgt en relativ stor skorstensdimension, kan man være nødsaget til at gå på kompromis med hensyn til optimal indregulering, hvis dette betyder, at skorstenen under normal drift når under dugpunkttemperaturen.

På enkelte nye anlæg arbejdes bevidst med at tvinge temperaturen ned under dugpunktet, ved hjælp af røggaskølere. Ved at benytte denne teknik får man frigivet den varme, der er bundet i kondensatet.

Dette stiller store krav til såvel aftrækssystem som skorsten, idet kondensatet kan være meget aggressivt over for traditionelle byggematerialer.

Der skal i disse tilfælde søges om tilladelse til udledning af kondensatet, hvis dette ikke neutraliseres.





Biobrændsel

Biofuelprogrammet

Der henvises til programmet »Biofuel«, som er et windowsbaseret PC-program til dimensionering af mindre fyringsanlæg for biobrændsel.

Formålet med programmet er at give installatører af biobrændselsanlæg et værktøj til bedre opbygning af anlæggene - samt at give mulighed for optimering af dimensioneringsgrundlaget for de hovedkomponenter, der indgår i anlægget.

Der ligger i programmet nogle forslag til systemopbygning - og programmet kan foretage de fleste af de beregninger, der er nødvendige, når man skal vælge størrelse på kedel, pumper, ventiler og eventuel akkumuleringsstank.

Programmet forhandles af Teknologisk Institut.



Rapsolie

Anvendelse af rapsolie i oliefyr

Der findes flere muligheder for anvendelse af rapsolie til energimæssige formål. Olien kan anvendes til opvarmningsformål i villaer, større bygninger og varmeværker.

Rapsolien kan også anvendes til transportformål ved brug af den rå planteolie i en modificeret dieselmotor som biodiesel direkte i eksisterende dieselmotorer.

Rapsolier karakteriseres ved forskellige analyseværdier. Der udarbejdet et forslag til kvalitetsstandard for rapsolie til opvarmning (RK-Q).

Egenskaber for raps- og fyringsolie	Enhed	Rapsolie	Fyringsolie
Vægtfylde	Kg/l	0,92	0,84
Brændværdi pr. kg.	MJ/kg	35,0	42,7
Brændværdi pr. liter	Mj/l	32,2	35,9
Vandindhold max.	Vægt%	0,075	
Flammepunkt	°C	220	ca. 70
Viskositet	Cts. 16°	75	4
Svovlindhold	Vægt%	0,002	0,05

Rapsolie indeholder således ganske lidt svovl og har en brændværdi pr. liter på ca. 90% af brændværdien i fyringsgasolie. Det lavere flammepunkt for rapsolie medføre mindre brandfare.

Rapsolie kan indeholde en større mængde vand end fyringsolie. Det er vigtigt at være opmærksom på rapsolien vandindhold, idet der er fare for korrosion i tanken samt slidtage på dyse rør og pumpe.

At anvende rapsolie til opvarmning kræver - på grund af - den høje viskositet en ny brænder eller ombygning af eksisterende brænder. Rapsolie kræver højt tryk og forvarmning for at forstøves så meget at det kan brænde. Større anlæg egner sig der for bedre til rapsolie end små anlæg, idet de større partikler kan nå at brænde.

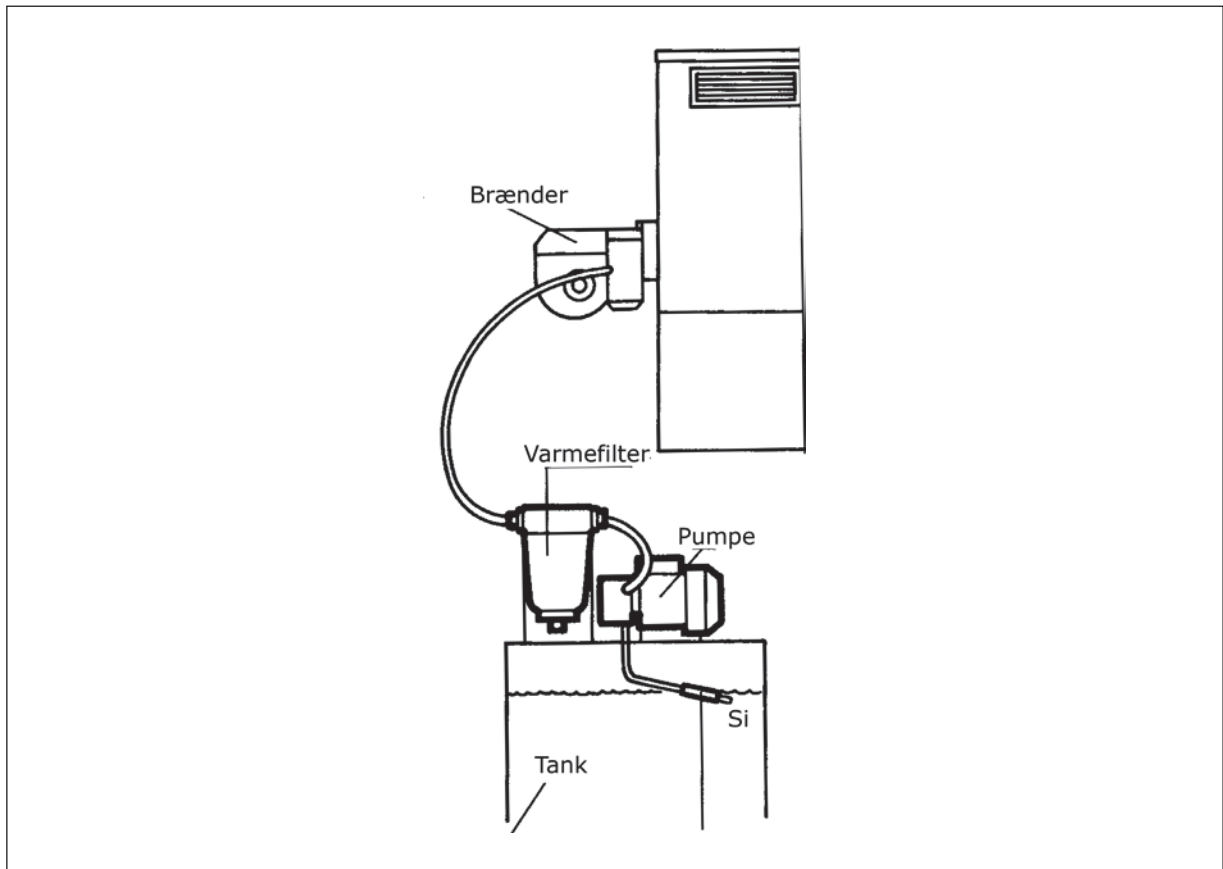
Derudover har rapsolien ingen smøreevne, hvorfor almindelige systemer med pumpe- og lignende ikke kan anvendes, og olien kan indeholde små urenheder, hvorved dyser mm. slides hurtigt.

Mens de traditionelle oliebrænderproducenter ikke producerer brændere til rapsolie, findes der importører af teknologi, der skulle kunne fungere med rapsolie. Teknologi er ikke testet i Danmark på et testcenter.

Rapsolien kan distribueres i eksisterende tankbiler og kan fyldes i eksisterende olietanke.

Det er dog vigtigt at være opmærksom på, om rapsolien er kompatibel med fyringsolie, og om de to olier derved kan blandes uden udfældning, der derfor vil opstå driftsproblemer

Ved temperaturer under -10° vil olien udkrystalisere.



Vedvarende energi

Biobrændsel

