

Dokumentation

Vejr10

Rapporten og værktøjet er udarbejdet af Michael Dahl Knudsen og Steffen Petersen, Aarhus Universitet (2014), som en del af **Elforsk projekt 345-002: Energisyndere i lavenergibyggeri**.

Indledning

Beregningsprogrammet Be10 bruges, når man skal dokumentere, at en bygning overholder energirammen i bygningsreglementets energibestemmelser. Programmet kan hverken anvendes til dimensionering af anlæg og installationer eller til at lave nogen egentlig forudsigtelse af det forventelige energiforbrug. Formålet med Be10 er alene at udgøre et objektivi grundlag til at vurdere bygningers energiforbrug.

Der anvendes standardforudsætninger for brugeradfærd og klimaforhold, fordi bygningen ønskes vurderet uafhængigt af tilfældige forhold omkring brugere og vejr. Endvidere anvendes en simplificeret beregningsmetode, som kun kan forventes at give tilnærmede resultater.

De nævnte forhold gør, at det beregnede energiforbrug ikke kan forventes at stemme fuldstændig overens med det faktiske. Dette er i uproblematisk set i forhold til programmets formål, men kan give problemer, når programmet anvendes på en anden måde. I praksis forventer mange, at det beregnede energiforbrug svarer til det faktiske, hvilket i bund og grund ikke skyldes, at programmet regner forkert, men at forventningerne er forkerte. Når det er sagt, så er der faktisk ting man kan gøre for at korrigere sin Be10 beregning, så den i nogen grad bliver sammenlignelig med det faktiske energiforbrug. Fx kan man anvende faktisk brugeradfærd og vejrforhold i Be10 i stedet for standardbetingelser. Brugeradfærden er relativ nem at korrigere for, idet man simpelthen kan indtaste de faktiske værdier i Be10's brugerflade. Det er derimod mere vanskeligt at korrigere for det faktiske vejr, idet dette findes i Be10's klimafil, som ikke umiddelbart kan ændres.

Der er imidlertid lavet et lille program kaldet Vejr10, som kan generere Be10 klimafil på baggrund af faktisk vejr. Nærværende dokument beskriver, hvordan dette program anvendes og giver også en matematisk beskrivelse af de formler, som anvendes til at generere klimadataene.

Farvekodning

Dette dokument anvender en farvekodning af forskellige værdier. for at læseren nemmere kan identificere, hvorfra en værdi stammer. Følgende farvekodning er anvendt:

- **Kerneværdier**
- **Drift og brugeradfærd input**
- **Brugerinput i Vejr10**
- **Vejrdatainput**
- **Rå vejrdato**

Kerneværdier er værdier, som er inkorporeret i Be10's beregningskerne. Disse værdier kan derfor ikke ændres medmindre SBI vælger at ændre deres programkode. Der er ikke mange af disse i nærværende dokument.

Drift og brugeradfærd input er værdier, som indtastes af brugeren, og som afhænger af den aktuelle bygningsdrift eller brugeradfærd. Der er ikke mange af disse i nærværende dokument.

Brugerinput i Vejr10 er værdier som indtastes af brugeren i Vejr10. Eksempler herpå er lokalitetens bredde- og længdegrad.

Vejrdata input er værdier, som findes i en Be10 vejrdatoinputfil. Eksempler herpå er månedsmiddelværdier for udetemperaturen, solindfald, skyggefaktor, solafskærmningsfaktorer, illuminans m.m. Det er beregningen af disse som beskrives i det sidste kapitel.

Rå vejrdato er værdier, som brugeren må give til Vejr10 i form af en tekstfil, førend programmet kan generere en Be10 klimafil.

Indholdsfortegnelse

Kap 1

Sådan anvendes Vejr10 s.7

1. Tekstfil 8
2. Trin for trin 9

Kap 2

Beskrivelse af Be10 klimafil s.11

1. Overblik 12
2. Udetemperatur 13
3. Solindfald 14
 - 3.1 Vinkelfaktor-forholdstal
 - 3.2 Skyggefaktorer
 - 3.3 Solafskærmningsfaktor (styringsfaktor)
4. Illuminans 19
5. Varmesæson 21
6. Jordtemperatur 22
7. Varmepumpe – dækningsgrad 23

Kap 3

Matematisk grundlag s. 24

1. Overblik	25
2. Solens position	26
2.1 Parametre til beregning af solens position	
2.1.1 Dagsvinkel	
2.1.2 Ligning for tid	
2.1.3 Soltid	
2.1.4 Timevinkel	
2.1.5 Deklination	
2.2 Solhøjden	
2.3 Solazimuth	
3. Opdeling af global solstråling	29
3.1 Klarhedsindex	
3.2 Udenjordisk horisontal solstråling	
3.3 Direkte solstråling	
3.4 Horisontal diffus solstråling	
4. Solindfald på flader	32
4.1 Parametre til beregning af solindfald på flader	
4.1.1 Dugpunktstemperatur	
4.1.2 Udfældeligt vandindhold	
4.1.3 Relativ optisk luftmasse	
4.1.4 Himlens lyshed	
4.1.5 Himlens klarhed	
4.2 Indfaldsvinkel	
4.3 Direkte solindfald på flader	
4.4 Diffuse solindfald på flader	
4.5 Reflekterede solindfald på flader	
4.1.5 Globalstråling	
4.6 Månedlige solindfald	
5. Korrektionsfaktorer	39
5.1 Vinkelkorrektionsfaktor	
5.1.1 Metode 1 - BSIM	
5.1.2 Metode 2 – Roos og Karlsson	
5.1.3 Effektive indfaldsvinkler	
5.1.4 Klimafilens vinkelkorrektionsfaktorer	
5.1.5 Tabt solenergi	
5.2 Skygefaktorer	
5.2.1 Diffus og reflekteret solstråling	
5.2.2 Direkte solstråling	
5.3 Solafskærmningsfaktor (styringsfaktor)	
6. Illuminans	47

Kapitel 1

Sådan anvendes Vejr10

1. Tekstfil

Programmet Vejr10 er et simpelt program at anvende. Det tager ganske enkelt en tekstfil med data for det faktiske vejr og laver på baggrund heraf en Be10 klimafil. Det vanskeligste i processen er at fremskaffe de fornødne vejrdata og lave en tekst fil i det rigtige format.

Følgende data skal fremskaffes (alle data skal være timeværdier for et helt år):

- **Udetemperatur [°C]**
- **Direkte solstråling og diffus solstråling [W/m²]**
- **Relativ luftfugtighed [%]**

Ofte er det kun muligt at få **global solstråling** i stedet for direkte- og diffus solstråling. Dette er også nok, og programmet opdeler i så fald globalstrålingen i dens direkte og diffuse komponenter jf. afsnit 3.2. Det bør dog bemærkes, at denne opdeling involverer nogle usikkerheder, som kan undgås ved at have målte værdier for direkte- og diffus solstråling.

Nedenunder ses et udsnit af en tekstfil med det korrekte format.

ExtTmp	GlobRad	DifRad	NormRad	RelHumid	CldCover
2,8	-99	0	0	78,78	-99
2,6	-99	0	0	78,47	-99
2,6	-99	0	0	78,47	-99
2,8	-99	0	0	78,62	-99
2,9	-99	0	0	85,3	-99
3,2	-99	0	0	83,3	-99
2,9	-99	0	0	78,41	-99
2,3	-99	0	0	76,59	-99
2,2	-99	2	0	76,48	-99
3,2	-99	29	190	79,42	-99
3,5	-99	50	48	80,35	-99
4	-99	20	5	79,5	-99
4,9	-99	34	0	79,36	-99
6	-99	21	6	77,22	-99
6,4	-99	19	28	75,28	-99
7,1	-99	7	27	74,38	-99
7,5	-99	0	0	73,42	-99
6,9	-99	0	0	73,51	-99

Tekstfilen består af 6 tab adskilte kolonner ('tab delimited'). Hver kolonne indeholder timeværdier for et helt år inklusiv en overskrift.

Første kolonne indeholder udetemperaturen og skal være opgivet.

Anden kolonne indeholder den globale stråling og skal kun være opgivet, hvis der ikke er data for den diffuse og direkte stråling. I eksemplet ovenover er der ikke givet værdier for den globale stråling, og derfor er alle værdier sat til -99.

Tredje og fjerde kolonne er henholdsvis diffus- og direkte solstråling. Begge disse skal som sagt helst være opgivet, men hvis de ikke er til rådighed, så sættes disse til -99, og den globale stråling må i så fald være oplyst. Den direkte stråling er i øvrigt strålingen på et plan der holdes med normalen i strålingens retning, mens den diffuse og globale stråling er strålingen på et horisontalt plan.

Femte kolonne er den relative luftfugtighed i procent, og skal altid være givet.

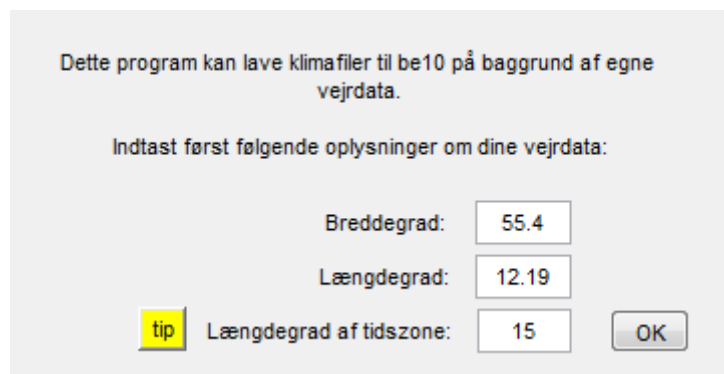
Sjette kolonne anvendes pt. ikke i programmet, og alle værdier sættes her til -99.

2. Trin for trin

Trin 1: Download og installer Vejr10

Trin 2: Lav ovennævnte tekst fil med målt vejr

Trin 3: Start Vejr10 og indtast bygningens lokalitet



Dette program kan lave klimafilere til be10 på baggrund af egne vejrdata.

Indtast først følgende oplysninger om dine vejrdata:

Breddegrad:	<input type="text" value="55.4"/>
Længdegrad:	<input type="text" value="12.19"/>
tip Længdegrad af tidszone:	<input type="text" value="15"/>

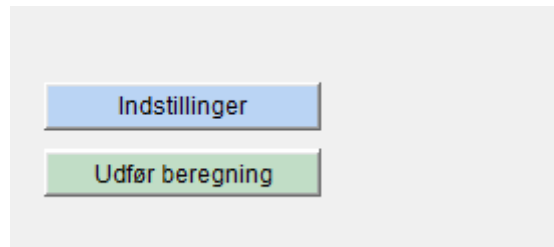
Trin 4: Importer tekstfilen



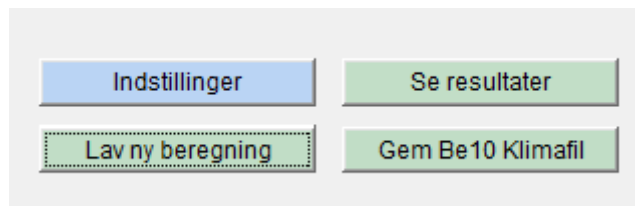
Vælg nu en .txt fil med vejrdata:

tip	<input type="text" value="VejrFil2000G.txt"/>	<input type="button" value="Vælg fil"/>
------------	---	---

Trin 5: Ændr eventuel på standard indstillingerne eller udfør en beregning

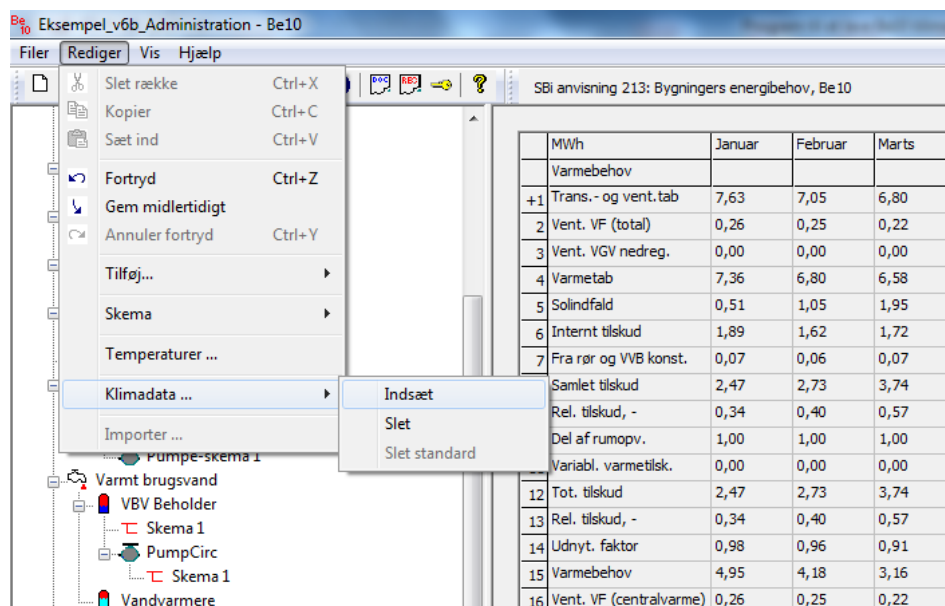


Trin 6: Se eventuelt resultater og/eller ændr indstillinger og udfør en ny beregning



Trin 8: Gem filen

Trin 9: Indsæt den nye klimafil i Be10



Kapitel 2

Beskrivelse af Be10 klimafil

1. Overblik

I dette kapitel præsenteres indholdet af en Be10 klimafil, for at belyse hvilke oplysninger den egentlig rummer. Undervejs vises værdierne i standard klimafilen, som anvendes til myndighedsgodkendelse, og som bygger på DRY data. Klimafilen indeholder følgende værdier, som derfor gennemgås i dette kapitel.

- **Udetemperatur** s. 26
- **Solindfald** s. 14
- **Illuminans** s. 19
- **Varmesæson** s. 21
- **Jordtemperatur** s. 22
- **Varmepumpe – dækningsgrad** s. 23

2. Udetemperatur

Klimafilen indeholder en middeltemperatur for hver måned. Standardfilen er som sagt baseret på DRY og indeholder følgende værdier.

Udetemperatur [°C], θ_{Ude}											
Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
-0,5	-1,0	1,7	5,6	11,3	15,0	16,4	16,2	12,5	9,1	4,8	1,5

Tabel 1

Udetemperaturen er simpel at beregne da det simpelthen er gennemsnittet af alle timeværdier i den pågældende måned.

Udetemperaturen indgår i mange essentielle beregninger i Be10, hvoraf den vigtigste er beregningen af transmissions- og ventilationstab.

$$Q_{V\&T,Tab} = \frac{24 \cdot D}{10^3} \cdot (H_{Tr} + H_{Ve}) \cdot (\theta_{V,Set} - \theta_{Ude}) \quad [kWh/mdr] \quad (2)$$

Hvor

$Q_{V\&T,Tab}$ er ventilations- og transmissionstab [kWh/mdr]

H_{Tr} er det specifikke transmissionstab [W/K]

H_{Ve} er det specifikke ventilationstab [W/K]

$\theta_{V,Set}$ er bygningens varmesætpunkt [°C]

θ_{Ude} er udeluftens månedsmiddeltemperatur [°C]

D er antal dage i måneden

Det ses, at $Q_{V\&T,Tab}$ er proportionalt med temperaturforskellen mellem inde og ude, og afvigelser mellem faktiske temperaturer og standard vejret vil derfor have umiddelbar stor effekt på varmebehovet.

Bemærkning

Der er en del problemer ved at anvende udeluftens månedsmiddeltemperatur i forbindelse med ventilationstab. Problemet med ventilationen og infiltrationen er, at der kan være væsentlig forskellige driftstilstande udenfor og indenfor brugstiden. Hvis der fx kun er mekanisk ventilation om dagen, så er det ikke korrekt at anvende en middeltemperatur for hele døgnnet, men i stedet burde middeltemperaturen for brugstiden anvendes. Derfor må det forventes at Be10 overvurderer ventilationstab i denne situation idet døgnets middeltemperatur typisk er lavere en middeltemperaturen for dagtimerne alene. Omvendt må det forventes, at effekten af natkøling undervurderes, idet døgnmiddeltemperaturen typisk er højere end nattemperaturen.

3. Solindfald

Det er med hensyn til solindfaldet, at klimafilen rummer langt de fleste data, idet der er tabeller med udvendigt solindfald, vinkelkorrektionsfaktorer, skygefaktorer samt solafskærmningsfaktorer. I standard klimafilen (DRY) findes følgende data for det udvendige solindfald.

Udvendigt solindfald [kWh/(m ² måned)], $Q_{solind,f}$													
[°]		jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
90	n	6	11	22	36	54	60	57	41	26	14	7	4
90	nø/nv	6	12	27	51	76	79	76	56	35	16	7	4
90	ø/v	13	24	46	77	106	103	100	84	58	31	14	8
90	sø/sv	30	45	68	94	115	105	104	103	80	54	32	20
90	s	40	58	80	97	108	96	97	107	89	67	43	27
45	n	8	15	27	50	92	107	100	60	32	18	9	6
45	nø/nv	8	17	37	73	111	118	114	84	49	22	9	6
45	ø/v	16	31	60	104	146	146	141	119	76	40	18	10
45	sø/sv	30	50	83	127	167	159	156	145	100	61	33	20
45	s	37	59	93	135	171	161	159	155	110	72	41	25
0	-	15	32	64	114	163	165	160	134	81	42	19	10

Tabel 2

Ovenstående viser, at klimafilen indeholder data for det udvendige solindfald på flader med forskellig hældning og orientering. Klimafilen indeholder faktisk flere værdier end tabellen ovenover, idet denne også har værdier for hældninger på 75°, 60°, 30° og 15°. Det fremgår i øvrigt, at der ikke skelnes mellem om fladerne vender henholdsvis mod øst og vest, nordøst og nordvest eller sydøst og sydvest. Beregningen af $Q_{solind,f}$ er beskrevet i afsnit 3.3.

Ovenstående solindfald er det udvendige solindfald, og udgør altid udgangspunktet for at beregnes det resulterende solindfald gennem et bestemt vindue. De øvrige korrektionsfaktorer, som introduceres om lidt, har alle til formål at korrigere (mindske) dette for at tage hensyn til rudens evne til at transmittere solstråling, skygger samt solafskærmning. Nedenunder ses den formel som Be10 anvender til at beregne det resulterende soltilskud på baggrund af ovenstående solindfald.

$$Q_{sol,f} = [1 - (1 - |F_c|) \cdot (1 - f_{afs})] \cdot n \cdot A \cdot F_F \cdot F_W \cdot F_\alpha \cdot g \cdot F_{s,h} \cdot F_{s,u} \cdot F_{s,l} \cdot F_{s,r} \cdot F_{s,v} \cdot Q_{solind,f} \quad (3)$$

Hvor

$Q_{sol,f}$ er det resulterende soltilskud [kWh/m^2]

F_c er en solafskærmningsfaktor [-]

f_{afs} er en styringsfaktor [-]

n er antallet af vinduer

A er arealet af ét vindue [m^2]

F_F er glasandelen [-]

F_W er en vinkelfaktor (Be10 anvender værdien 0,86) [-]

F_α er et vinkelfaktor-forholdstal [-]

g er rudens g-værdi [-]

$F_{s,h}$ er en skyggefaktor for horisont [-]

$F_{s,u}$ er en skyggefaktor for udhæng [-]

$F_{s,l}$ er en skyggefaktor for venstreskygge [-]

$F_{s,r}$ er en skyggefaktor for højreskygge [-]

$F_{s,v}$ er en skyggefaktor for vindueshul [-]

$Q_{solind,f}$ er det månedslige solindfald på en flade (uden skygger og afskærmning) [kWh/m^2]

Ovenstående formel kan skrives lidt mere enkelt, hvis nogle af ovenstående faktorer grupperes.

$$Q_{sol,f} = F_G \cdot A_{eff} \cdot F_\theta \cdot g \cdot F_s \cdot Q_{solind,f} \quad (3a)$$

Hvor

$F_G = [1 - (1 - |F_c|) \cdot (1 - f_{afs})]$ er en samlet solafskærmningsfaktor

$A_{eff} = n \cdot A \cdot F_F$ er det effektive rudeareal

$F_\theta = F_W \cdot F_\alpha$ er en samlet vinkelkorrektionsfaktor

$F_s = F_{s,h} \cdot F_{s,u} \cdot F_{s,l} \cdot F_{s,r} \cdot F_{s,v}$ er en samlet skyggefaktor

3.1 Vinkelfaktor-forholdstal

Be10 anvender følgende vinkelfaktor-forholdstal i standard klimafilen:

Vinkelfaktorforholdstal [-], F_{α}													
[°]		jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
90	n	0,90	0,89	0,86	0,82	0,79	0,83	0,83	0,81	0,85	0,86	0,89	0,92
90	nø/nv	0,90	0,87	0,86	0,88	0,89	0,91	0,90	0,87	0,86	0,85	0,89	0,92
90	ø/v	0,91	0,93	0,95	0,96	0,95	0,96	0,96	0,95	0,96	0,94	0,90	0,89
90	sø/sv	1,01	1,01	1,00	0,98	0,95	0,94	0,95	0,97	1,00	1,00	1,00	1,01
90	s	1,05	1,04	1,01	0,96	0,92	0,91	0,92	0,96	0,99	1,03	1,05	1,06
45	n	0,97	0,97	0,96	0,86	0,82	0,86	0,85	0,84	0,95	0,96	0,97	0,98
45	nø/nv	0,97	0,93	0,91	0,94	0,96	0,97	0,97	0,94	0,91	0,90	0,95	0,98
45	ø/v	0,89	0,94	0,97	0,99	1,01	1,00	0,99	0,97	0,99	0,96	0,90	0,88
45	sø/sv	0,99	1,01	1,01	1,02	1,02	1,01	1,01	1,02	1,02	1,01	1,00	0,99
45	s	1,03	1,03	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,03
0	-	0,79	0,86	0,92	0,97	0,99	1,00	0,99	0,99	0,94	0,88	0,81	0,81

Tabel 3

Som tilfældet var for det udvendige solindfald så indeholder klimafilen yderligere værdier for fladehældninger på 75°, 60°, 30° og 15°. Ovenstående værdier korrigerer solstrålingen sammen med F_W , og tager herigennem hensyn til at et vindues evne til at transmittere solstråling afhænger af indfaldsvinklen. Beregningen af F_{α} beskrives i afsnit 3.4.1. F_W har en konstant værdi på 0,86.

3.2 Skyggefaktorer

Be10 anvender skyggefaktorer, som korrigerer solindfaldet for forskellige typer af skyggende objekter; Horisont, udhæng, venstre- og højreskygger samt vindueshul. Tabellen nedenunder viser værdier i standard klimafilen for skyggefaktorer for en 10 graders horisont:

Skyggefaktor – 10 ° horisont [-], $F_{s,h}$													
[°]		jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
90	n	1,00	1,00	1,00	0,98	0,95	0,95	0,95	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00
90	nø/nv	1,00	0,97	0,93	0,93	0,95	0,96	0,96	0,96	0,93	0,95	1,00	1,00
90	ø/v	0,69	0,86	0,93	0,95	0,97	0,98	0,97	0,97	0,93	0,91	0,83	0,75
90	sø/sv	0,75	0,92	0,96	0,98	0,99	1,00	0,99	0,99	0,96	0,94	0,88	0,75
90	s	0,73	0,93	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,88	0,72
45	n	1,00	1,00	1,00	0,98	0,95	0,95	0,95	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00
45	nø/nv	1,00	0,97	0,93	0,93	0,95	0,96	0,96	0,96	0,93	0,95	1,00	1,00
45	ø/v	0,69	0,86	0,93	0,95	0,97	0,98	0,97	0,97	0,93	0,91	0,83	0,75
45	sø/sv	0,75	0,92	0,96	0,98	0,99	1,00	0,99	0,99	0,96	0,94	0,88	0,75
45	s	0,73	0,93	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,88	0,72
0	-	0,84	0,94	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,92	0,85

Tabel 4

Der findes tilsvarende værdier for horisontskygger på 20°, 30°, 45° og 60°. På samme måde findes der tabeller for de øvrige skyggetyper. For udhænget findes tilsvarende tabeller for 45° og 63°. For venstre- og højreskygger findes tabeller for 30° og 60°, mens der for vindueshul findes tabeller for 10 %, 20 % og 30 % (se i øvrigt SBI anvisning for definition af disse skyggetyper). Der interpoleres lineært mellem tabelværdierne i tilfælde af bruger indtaster mellemliggende værdier. Beregningen af $F_{s,h}$, $F_{s,u}$, $F_{s,l}$, $F_{s,r}$ og $F_{s,v}$ beskrives i afsnit 3.4.2.

3.3 Solafskærmningsfaktor (styringsfaktor)

Be10 anvender en styringsfaktor, som korrigerer betydningen af solafskærmning i forhold til hvor ofte den er aktiv. Tabellen nedenunder viser værdierne for denne i standard klimafilen.

Solafskærmning - Styringsfaktor [-], f_{afs}													
[°]		jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
90	n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
90	nø/nv	1,00	1,00	0,99	0,86	0,78	0,79	0,81	0,91	0,97	1,00	1,00	1,00
90	ø/v	0,93	0,84	0,73	0,64	0,59	0,64	0,65	0,68	0,69	0,79	0,93	0,99
90	sø/sv	0,61	0,57	0,56	0,57	0,58	0,65	0,64	0,59	0,57	0,57	0,64	0,69
90	s	0,52	0,51	0,52	0,58	0,61	0,69	0,70	0,59	0,56	0,53	0,54	0,59
45	n	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
45	nø/nv	1,00	1,00	0,99	0,82	0,71	0,70	0,73	0,84	0,95	1,00	1,00	1,00
45	ø/v	0,98	0,88	0,74	0,61	0,54	0,57	0,59	0,62	0,69	0,82	0,96	1,00
45	sø/sv	0,74	0,64	0,58	0,53	0,49	0,53	0,54	0,52	0,57	0,63	0,73	0,81
45	s	0,66	0,58	0,54	0,51	0,47	0,51	0,53	0,50	0,54	0,58	0,64	0,73
0	-	0,45	0,49	0,52	0,55	0,56	0,57	0,56	0,56	0,53	0,50	0,46	0,46

Tabel 5

Beregningen af f_{afs} beskrives i afsnit 3.4.3.

4. Illuminans

Be10 anvender dagslysfaktormetoden til at beregne det indvendige dagslysniveau. Standard klimafilen indeholder følgende værdier for den udvendige illuminans:

Udvendig illuminans [Lux], L_{difH}												
time	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	30	410	80	0	0	0	0	0
5	0	0	0	90	2000	4200	2200	260	0	0	0	0
6	0	0	0	2400	7500	9300	7000	3500	350	0	0	0
7	0	0	910	7100	12300	13300	12600	9300	3700	390	0	0
8	0	310	4700	12400	18000	18500	17600	14800	8500	3100	220	0
9	540	3000	10000	16800	21800	23600	23300	20600	12400	6900	2000	290
10	3100	7800	14700	21400	25600	29700	28600	23100	18300	10000	5300	2200
11	6100	11300	17300	23200	26400	30100	31400	26300	21300	12200	8000	4300
12	8000	14100	20000	25600	24900	31200	30700	27100	22500	13700	9700	6300
13	8600	13400	18100	26400	25800	32900	32200	27900	21500	14000	9000	6700
14	7200	13100	17700	24400	25000	31500	31400	26900	21300	13500	7600	5500
15	5100	10700	15000	21300	24500	30100	29600	24700	19000	10400	5100	3100
16	2000	6800	11500	17400	22800	27600	24400	20400	13900	6200	1900	760
17	180	3100	7600	13300	20300	21500	20800	16600	9500	2600	90	0
18	0	330	3200	8700	15000	15700	15300	10800	4400	190	0	0
19	0	0	300	3700	10100	10400	10800	5500	790	0	0	0
20	0	0	0	300	3200	5900	5400	1100	0	0	0	0
21	0	0	0	0	140	1200	940	10	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>hn</i>	15	13	11	8	6	6	6	7	10	12	14	16

Tabel 6

Beregnings af L_{difH} beskrives i afsnit 3.5.

Bemærk at alle timer uden udvendig illuminans er summeret nederst i tabellen. Disse værdier er også opgivet i klimafilen og angiver månedens antal af nattetimer, *hn*, og bruges til at beregne elforbrug til udendørs belysning.

5. Varmesæson

Be10 anvender som udgangspunkt en opvarmningssæson fra september til maj (begge måneder inkluderet), men dette er data som findes i klimafilen, og kan følgelig ændres med programmet **Vejr10**. Opvarmningssæsonen fungerer således, at opvarmningsbehovet sættes til nul i måneder uden for sæsonen, selv hvis Be10 beregner et opvarmningsbehov. Det er naturligvis ikke muligt at starte/stoppe opvarmningssæsonen midt i en måned pga. at Be10 udfører månedsvise beregninger. Typisk defineres opvarmningssæsonen ellers fra midt september til midt i maj.

6. Jordtemperatur

Klimafilen indeholder middeljordtemperatur for hver måned. Standardfilen indeholder følgende værdier.

Jordtemperatur [°C], θ_{Jord}											
Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
-1,5	-2,0	-0,5	3,0	8,0	12,0	16,0	17,0	10,0	4,0	1,0	-0,5

Tabel 7

Jordtemperaturerne anvendes ved beregning af jordvarme og angiver jordtemperaturen ved jordslangerne. Værdierne beregnes ikke af Vejr10 programmet, men kan defineres af brugeren i programmet. Hvis der ikke defineres nye jordtemperaturer, så anvendes ovenstående standardværdier.

7. Varmepumpe – dækningsgrad

Klimafilen indeholder data vedrørende varmepumpers dækningsgrad ved forskellige temperaturer for hver måned. Disse data behandles ikke i dette dokument og kan pt. ikke ændres af Vejr10 programmet, og derfor sættes disse værdier altid lig med værdierne i standardvejrfilen.

Kapitel 3

Matematisk grundlag

1. Overblik

I dette kapitel beskrives de formler, som Vejr10 anvender til at beregnes nye værdier til Be10's klimafil. Alle værdier beregnes først for hver time hele året, og derefter findes månedslige middelværdier. Kapitlet indeholder følgende hovedafsnit:

- **Solens position** s. 26
- **Opdeling af global stråling** s. 29
- **Solindfald på flader** s. 32
- **Korrektionsfaktorer** s. 39
- **Illuminans** s. 47

2. Solens position

Solens position er udtrykt ved *solhøjden* og *solazimuth*. Til at beregnes disse anvendes størrelserne *dagsvinkel*, *EOT (ligning for tid)*, *soltid*, *timevinkel* og *deklination*. Formler for disse er beskrevet i det følgende:

2.1 Parametre til beregning af solens position

Beregningen af solens position bygger på en række tidslige og rumlige parametre, som derfor først beregnes i det følgende.

2.1.1 Dagsvinkel /1/

$$J = \frac{2 \cdot \pi \cdot D}{365,25} \quad (2.1.1)$$

Hvor

J er dagsvinklen i radianer

D er den julianske dagsnummer (1-365)

2.1.2 Ligning for tid /1/

$$EOT = -0,128 \sin(J - 0,04887) - 0,165 \sin(2J + 0,34383) \quad (2.1.2)$$

Hvor

EOT er ligningen for tid i timer

J er dagsvinklen i radianer

2.1.3 Soltid /1/

$$LAT = LMT + EOT + 12 \cdot \frac{(\lambda - \lambda_R)}{\pi} + c \quad (2.1.3)$$

Hvor

LAT er soltiden i timer

LMT er civiltiden i timer

EOT er ligningen for tid i timer

λ er længdegraden i radianer (regnes positive mod øst)

λ_R er længdegraden af tidszone i radianer (regnes positive mod øst)

c er en korrektion for sommertid. (Sættes lig 0, når der ikke medtages sommertid)

2.1.4 Timevinkel /1/

$$\omega = \frac{(LAT - 12) \cdot \pi}{12} \quad (2.1.4)$$

Hvor

ω er timevinklen i radianer

LAT er soltiden i timer

2.1.5 Deklination /2/

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{(284 + D)}{365}\right) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{360} \quad (2.1.5)$$

Hvor

δ er deklinationen i radianer

D er den julianske dagsnummer (1-365)

2.2 Solhøjden /1/

Solhøjden betegner solens højde over horisonten, og kan beregnes som:

$$\gamma_s = \sin^{-1}(\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega) \quad (2.2)$$

Hvor

γ_s	er solhøjden i radianer (Positiv fra vandret og opad)
φ	er breddegraden i radianer
δ	er deklinationen i radianer
ω	er timevinklen i radianer

2.3 Solazimuth /1/

Solazimuth er vinklen mellem det vertikale plan, som indeholder retningsvektorer mod solen, og det vertikale plan, som peger i syd-nordlig retning. M.a.o. er det solens horisontale placering modsat solhøjden, som er solens vertikale placering. Solazimuth er nul, når solen er stik syd, og måles positiv fra syd mod vest. Solazimuth kan bestemmes ved følgende ligninger:

$$\cos \alpha_s = \frac{\sin \varphi \cdot \sin \gamma_s - \sin \delta}{\cos \varphi \cos \gamma_s} \quad (2.3)$$

$$\sin \alpha_s = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \gamma_s}$$

$$\alpha_s = -\cos^{-1}(\cos \alpha_s) \quad \text{hvis } \sin \alpha_s < 0$$

$$\alpha_s = \cos^{-1}(\cos \alpha_s) \quad \text{hvis } \sin \alpha_s > 0$$

Hvor

α_s	er solazimuth i radianer (Positiv fra syd mod øst)
φ	er breddegraden i radianer
γ_s	er solhøjden i radianer (Positiv fra vandret og opad)
δ	er deklinationen i radianer
ω	er timevinklen i radianer

3. Opdeling af global solstråling

I mange tilfælde måles kun den globale solstråling på horisontalt plan, og den horisontale direkte og diffuse solstråling må derfor udledes heraf. Dette er ikke nogen simpel sag, og ethvert forsøg herpå indebærer nogen grad af usikkerhed. Metoden, der anvendes her er beskrevet af Hans Lund i /3/.

3.1 Klarhedsindex /3/

Metoden gør, som så mange andre metoder, brug af klarhedsindekset, som er forholdet mellem horisontal globalstråling og horisontal udenjordisk solstråling:

$$k_t = \frac{G_h}{I_e \cdot \sin \gamma_s} \quad (3.1)$$

Hvor

k_t	er klarhedsindekset [-]
G_h	er den horisontale globalstråling [W/m^2]
I_e	er den udenjordiske horisontale solstråling [W/m^2]
γ_s	er solhøjden i radianer

3.2 Udenjordisk horisontal solstråling /4/

$$I_e = I_{sc} \cdot (1 + 0,033 \cos J) \quad (3.2)$$

Hvor

I_e	er den udenjordiske horisontale solstråling [W/m^2]
I_{sc}	er solkonstanten ($\approx 1366 W/m^2$)
J	er dagsvinklen i radianer

3.3 Direkte solstråling

Metoden anvender minimumstemperaturen, T_{min} , til at udtrykke den absolutte luftfugtighed. Som minimumstemperatur vælges den laveste temperatur den pågældende dag før kl. 8.00.

Følgende procedure anvendes herefter til at bestemme størrelserne R_{min} og R_{eld} . Først bestemmes R_{min}

$$R_{min} = 0,165 + 0,004 \cdot T_{min} \quad (3.3)$$

$$\text{Hvis } R_{min} < 0,140 \quad \text{å } R_{min} = 0,140$$

Herefter findes R_{eld}

$$\text{Hvis } k_t > 0,75 \quad \text{så } R_{eld} = R_{min} \quad (3.3a)$$

$$\text{Hvis } k_t < 0,35 \quad \text{så } R_{eld} = 1 - 0,249 \cdot k_t$$

$$\text{Hvis } 0,35 < k_t < 0,75 \quad \text{så } R_{eld} = 0,913 - \frac{(0,913 - R_{min}) \cdot (k_t - 0,36)}{0,4}$$

Den direkte solstråling på et plan med normal i solens retning beregnes som:

$$I_{dir} = \frac{G_h \cdot (1 - R_{eld})}{\sin \gamma_s} \quad (3.3b)$$

Hvor

I_{dir} er den direkte solstråling [W/m^2]

G_h er den horisontale globalstråling [W/m^2]

γ_s er solhøjden i radianer

Kontrol

Den netop beregnede direkte solstråling overskrider muligvis en maksimal rimelig værdi, og den skal derfor kontrolleres for at undgå dette er tilfældet. Dette gøres på følgende måde:

Først beregnes en daglig koefficient EXT:

$$\text{Hvis } T_{min} \geq -10 \quad \text{så } EXT = 0,007 \cdot T_{min} + 0,12 \quad (3.3c)$$

$$\text{Hvis } T_{min} < -10 \quad \text{så } EXT = 0,05$$

Herefter beregnes den maksimale "fornuftige" direkte solstråling:

$$I_{dir,max} = 1,164 \cdot \left(1 + 0,0334 \cos \left(\frac{2\pi \cdot D}{365} \right) \right) \cdot e^{\frac{-EXT \cdot 1,02}{\sin \gamma_s + 0,02}} \quad (3.3d)$$

Hvor

$I_{dir,max}$	er den maksimale direkte solstråling [W/m^2]
D	er den julienske dagsnummer (1-365)
γ_s	er solhøjden i radianer

Herefter laves følgende test:

$$\begin{aligned} \text{Hvis } I_{dir} > I_{dir,max} + 0,056 & \quad \text{å } I_{dir} = I_{dir,max} \\ \text{Hvis } I_{dir} \leq I_{dir,max} & \quad \text{så } I_{dir} = I_{dir} \end{aligned} \quad (3.3e)$$

3.4 Horizontal diffus solstråling

Den diffuse solstråling på horisontalt plan beregnes som den resterende andel:

$$I_{difH} = G_h - I_{dir} \cdot \sin \gamma_s \quad (3.4)$$

Hvor

I_{difH}	er den diffuse horisontale solstråling [W/m^2]
I_{dir}	er den direkte solstråling [W/m^2]
γ_s	er solhøjden i radianer

4. Solindfald på flader

I dette afsnit beskrives, hvordan solindfaldet på flader med forskellig hældning og orientering beregnes på baggrund af horisontalt solindfald.

4.1 Parametre til beregning af solindfald på flader

Først beregnes *dugpunktstemperaturen, indholdet af udfældeligt vandindhold, relativ optisk luftmasse, himlens lysshed samt himlens klarhed*, som alle er nødvendige parametre til beregning af solindfaldet på en vilkårlig flade

4.1.1 Dugpunktstemperatur /6/

Der anvendes en simpel tilnærmet formel til at beregne dugpunktstemperaturen på baggrund af den relative luftfugtighed og den udvendige lufttemperatur:

$$W = 243,5 \cdot \frac{\gamma}{17,67 - \gamma} \quad (4.1.1)$$

Hvor

$$\gamma = \ln\left(\frac{RH}{100}\right) + 17,67 \cdot \frac{T_u}{243,5 + T_u} \quad [-]$$

T_d er dugpunktstemperaturen [$^{\circ}\text{C}$]

RH er den relative luftfugtighed [-]

T_u er den udvendige lufttemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

4.1.2 Udfældeligt vandindhold /5/

$$W = e^{0,07 \cdot T_d - 0,075} \quad (4.1.2)$$

Hvor

W er luftens indhold af udfældeligt vand [cm]

T_d er dugpunktstemperaturen [$^{\circ}\text{C}$]

4.1.3 Relativ optisk luftmasse /6/

$$m_a = \frac{1}{\sin \gamma_s + a \cdot (b + \gamma_s)^{-c}} \quad (4.1.3)$$

Hvor

- m_a er den relative optiske luftmasse
- γ_s er solhøjden i grader
- a er en empirisk konstant (0,50572)
- b er en empirisk konstant (6,07995)
- c er en empirisk konstant (1,6364)

4.1.4 Himlens lyshed /5/

$$\Delta = \frac{I_{difH} \cdot m_a}{I_e} \quad (4.1.4)$$

Hvor

- Δ er himlens lyshed [-]
- I_{difH} er den diffuse solstråling på horisontal plan [W/m^2]
- m_a er den relative optiske luftmasse
- I_e er den udenjordiske horisontale solstråling [W/m^2]

4.1.5 Himlens klarhed /5/

$$\epsilon = \frac{\frac{I_{difH} + I_{dir}}{I_{difH}} + 1,041 \cdot Z^3}{1 + 1,041 \cdot Z^3} \quad (4.1.5)$$

Hvor

- ϵ er himlens klarhed [-]
- I_{difH} er den diffuse solstråling på horisontal plan [W/m^2]
- I_{dir} er den direkte solstråling [W/m^2]
- Z er sol Zenith i radianer

Sol Zenith beregnes som:

$$Z = \frac{\pi}{2} - \gamma_s \quad (4.1.5a)$$

Hvor

Z er sol Zenith i radianer

γ_s er solhøjden i radianer

Himlens klarhed ϵ anvendes til at finde en kategori for himmel klarheden ϵ_c ved hjælp af følgende tabel:

ϵ_c Kategori	ϵ Nedre grænse	ϵ Øvre grænse
1. (Overskyet)	1,000	1,065
2.	1,065	1,230
3.	1,230	1,500
4.	1,500	1,950
5.	1,950	2,800
6.	2,800	4,500
7.	4,500	6,200
8. (Klart)	6,200	--

Tabel 8

Som eksempel er den tilhører klarheden kategori 4, hvis ϵ har en værdi mellem 1,500 og 1,950. Kategorien bruges senere til at finde forskellige koefficienter ved tabelopslag.

4.2 Indfaldsvinkel /8/

Solstrålingens indfaldsvinkel afhænger af fladens hældning og orientering:

$$\cos \theta = \cos(\alpha_s - \alpha_f) \cos \gamma_s \sin \gamma_f + \sin \gamma_s \cos \gamma_f \quad (4.2)$$

Hvor

θ	er indfaldsvinklen
α_s	er solazimuth
α_f	er fladeazimuth og angiver vinklen af fladens normal, og defineres på samme måde som solazimuth
γ_s	er solhøjden
γ_f	er fladens hældning højden og angiver vinklen af fladens normal og defineres på samme måde som solhøjden

Indfaldsvinklen er vinklen mellem fladens normal og solens retning. Hermed er indfaldsvinklen 0 grader, når solindfaldet er vinkelret på ruden (solen står lige ud for vinduet).

4.3 Direkte solindfald på flader /8/

Det direkte solindfald på en flade afhænger af mængden af direkte sol på en flade med normal i solens retning samt solens indfaldsvinkel på den aktuelle flade.

$$I_{dir,f} = I_{dir} \cdot \cos \theta \quad \text{for } \cos \theta > 0 \quad (4.3)$$

$$I_{dir,f} = 0 \quad \text{for } \cos \theta \leq 0$$

Hvor

$I_{dir,f}$ er det direkte solindfald på fladen [W/m^2]

θ er solens indfaldsvinkel

I_{dir} er den direkte solstråling [W/m^2]

4.4 Diffuse solindfald på flader /5/

Det diffuse solindfald på en flade er vanskeligt nøjagtigt at beregne, når himlen ikke er fuldstændig klar. Der findes forskellige detaljerede empiriske formler til bestemmelse heraf, men Perez' metode /5/ er anvendt her.

$$I_{dif,f} = I_{difH} \cdot \left(\frac{(1 - F1) \cdot (1 + \cos \gamma_f)}{2} + F1 \cdot \frac{a}{b} + F2 \cdot \sin \gamma_f \right) \quad (4.4)$$

Hvor

$I_{dif,f}$ er det diffuse solindfald på fladen [W/m^2]

I_{difH} er det horisontale diffuse solstråling [W/m^2]

γ_f er fladens hældning

Parametrene a og b beregnes som:

$$a = maks\{0; \cos \theta\} \quad (4.4a)$$

$$b = maks\left\{0,087; \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma_s\right)\right\}$$

Hvor

θ er solens indfaldsvinkel

γ_s er solhøjden i radianer

Koefficienterne F1 og F2 beregnes som:

$$F1 = F11(\epsilon_c) + F12(\epsilon_c) \cdot \Delta + F13(\epsilon_c) \cdot Z \quad (4.4b)$$

$$F2 = F21(\epsilon_c) + F22(\epsilon_c) \cdot \Delta + F23(\epsilon_c) \cdot Z$$

Hvor

ϵ_c er en kategori for himlens klarhed (se tabel 8)

Δ er himlens lyshed [-]

Z er sol Zenith i radianer

F1 er en koefficient, som udtrykker lysheden rundt om solen, mens F2 udtrykker lysheden i horisonten. Som formelen ovenover viser, så afhænger disse koefficienter af en række yderligere koefficienter F11, F12, F13, F21, F22 og F23. Disse afhænger til gengæld af kategorien for himlens klarhed, og kan findes i tabellen nedenunder:

ϵ_c	F11	F12	F13	F21	F22	F23
1	-0,008	0,588	-0,062	-0,060	0,072	-0,022
2	0,130	0,683	-0,151	-0,019	0,066	-0,029
3	0,330	0,487	-0,211	0,055	-0,064	-0,026
4	0,568	0,187	-0,295	0,109	-0,152	-0,014
5	0,873	-0,392	-0,362	0,226	-0,462	0,001
6	1,132	-1,237	-0,412	0,288	-0,823	0,056
7	1,060	-1,600	-0,359	0,264	-1,127	0,131
8	0,678	-0,327	-0,250	0,156	-1,377	0,251

Tabel 9

4.5 Reflekterede solindfald på flader /8/

Flader modtager også solstråling, som et resultat af at omgivelserne reflekterer solstråling mod fladen, og dette bidrag kan beregnes som:

$$I_{ref,f} = G_h \cdot \rho \cdot (1 - \cos \gamma_f) \cdot 0,5 \quad (4.5)$$

Hvor

$I_{ref,f}$	er det reflekterede solindfald på fladen [W/m^2]
G_h	er den horisontale globalstråling [W/m^2]
ρ	er omgivelsernes reflektionsforhold (albedo)
γ_f	er fladens hældning

4.5.1 Globalstråling /8/

I tilfælde af at den direkte og diffuse solstråling er oplyst, mens den globale stråling ikke er givet, så kan den globale stråling nemt beregnes vha. følgende formel:

$$G_h = I_{dir} \cdot \sin \gamma_s + I_{difH} \quad (4.6)$$

Hvor

G_h	er den horisontale globalstråling [W/m^2]
I_{dir}	er den direkte solstråling [W/m^2]
γ_s	er solhøjden
I_{difH}	er den diffuse solstråling på horisontal plan [W/m^2]

4.6 Månedlige solindfald

I Be10's klimafil indgår som bekendt en månedligt solindfald på flader med forskellig hældning og orientering. Dette er simpelthen beregnet ved at tage summen af det direkte-, diffuse- og reflekterede solindfald for hver time i hele måneden:

$$Q_{solind,f} = \frac{1}{1000} \cdot \sum_{m,dr} (I_{dir,f} + I_{dif,f} + I_{ref,f}) \quad (4.6)$$

Hvor

$Q_{solind,f}$	er det månedslige solindfald på en flade (uden skygger) [kWh/m^2]
$I_{dir,f}$	er det direkte solindfald på fladen [W/m^2]
$I_{ref,f}$	er det reflekterede solindfald på fladen [W/m^2]
$I_{dif,f}$	er det diffuse solindfald på fladen [W/m^2]

Dette er det udvendige solindfald på en flade, såfremt der ikke er udvendige skyggende objekter. Et senere afsnit viser, hvordan skyggefaktorer beregnes for at tage hensyn til udvendige skygger. Næste afsnit viser derimod hvordan det udvendige solindfald korrigeres for at tage hensyn til at ruden g -værdi afhænger af indfaldsvinklen.

5. Korrektionsfaktorer

I dette afsnit beskrives beregningen af forskellige korrektionsfaktorer. Først beskrives, hvorledes en vinkelkorrektionsfaktor beregnes for at korrigere for at vinduets evne til at transmittere solstråling afhænger af indfaldsvinklen. Herefter beskrives hvorledes skyggefaktorer beregnes for at korrigere (mindste) solindfaldet på en flade, som følge af udvendige skyggende objekter. Og endeligt vises, hvordan en solafskærmningsfaktor kan beregnes for at korrigere for mekanisk eller manuelt styret solafskærmning.

5.1 Vinkelkorrektionsfaktor

I Be10 anvendes rudens g -værdi ved vinkelret solindfald til at beregne det transmitterede solindfald. Denne værdi gives af brugeren af Be10. Det transmitterede solindfald afhænger imidlertid af indfaldsvinklen, og derfor indføres en korrektionsfaktor.

$$Q_{t,f} = g \cdot F_{\theta} \cdot Q_{solind,f} \quad (5.1)$$

Hvor

$Q_{t,f}$ er det transmitterede solindfald (uden skygger) [kWh/m^2]

g er rudens g -værdi ved vinkelret solindfald [-]

F_{θ} er en vinkelkorrektionsfaktor [-]

$Q_{solind,f}$ er det månedslige solindfald på en flade (uden skygger) [kWh/m^2]

Vinkelkorrektionsfaktoren er således:

$$F_{\theta} = \frac{Q_{t,f}}{g \cdot Q_{solind,f}} \quad (5.1a)$$

Det udvendige solindfald på flader uden skygger, $Q_{solind,f}$, er allerede beregnet i forrige afsnit. Det transmitterede solindfald kan beregnes på følgende måde:

$$Q_{t,f} = \frac{1}{1000} \cdot g \cdot \sum_{m,dr} (f_{dir\theta,f} \cdot I_{dir,f} + f_{dif\theta,f} \cdot I_{dif,f} + f_{ref\theta,f} \cdot I_{ref,f}) \quad (5.1b)$$

Hvor

$Q_{t,f}$	er det transmitterede solindfald [kWh/m^2]
g	er rudens g-værdi ved vinkelret solindfald [-]
$I_{dir,f}$	er det direkte solindfald på fladen [W/m^2]
$f_{dir\theta,f}$	er en vinkelkorrektionsfaktor for direkte solstråling
$I_{ref,f}$	er det reflekterede solindfald på fladen [W/m^2]
$f_{ref\theta,f}$	er en vinkelkorrektionsfaktor for den reflekterede solstråling
$I_{dif,f}$	er det diffuse solindfald på fladen [W/m^2]
$f_{dif\theta,f}$	er en vinkelkorrektionsfaktor for den diffuse solstråling

Ovenstående beregner det transmitterede solindfald i hver time ved at multiplicere henholdsvis den direkte-, diffuse- og reflekterede solstråling med korrektionsfaktorer. Hver time summeres efterfølgende for at finde det månedslige transmitterede solindfald. Vinkelkorrektionsfaktoren findes derfor som:

$$F_{\theta} = \frac{1}{1000} \cdot \sum_{m,dr} (f_{dir\theta,f} \cdot I_{dir,f} + f_{dif\theta,f} \cdot I_{dif,f} + f_{ref\theta,f} \cdot I_{ref,f}) \quad (5.1c)$$

$Q_{solind,f}$

Det fremgår, at vinkelkorrektionsfaktoren ikke afhænger af g-værdien. Der er forskellige formler der kan anvendes til at beregne de 3 vinkelkorrektionsfaktorer. Her beskrives to metoder, som begge kan vælges i programmet; BSIM-metoden og Roos og Karlssons metode.

5.1.1 Metode 1 - BSIM /9/

Korrektionsfaktoren for solstråling af i BSIM:

$$f_{dir\theta,f} = 1 - 0,04 \cdot \frac{\theta}{100} - \left(2,933 - 2,13 \cdot \left(\frac{\theta}{100} \right)^6 \right) \cdot \left(\frac{\theta}{100} \right)^6 \quad (5.1.1)$$

Hvor

θ	er indfaldsvinklen i grader
----------	-----------------------------

Denne metode antager at korrektionsfaktoren kan beregnes med samme formel uanset rudetype.

5.1.2 Metode 2 - Roos og Karlsson /10/

Denne metode adskiller sig fra BSIM derved at rudetyper har betydning for formeludtrykket til beregning af korrektionsfaktorerne. Følgende polynomium anvendes til at beregnes korrektionsfaktoren for direkte solindfald:

$$f_{dir\theta,f} = 1 - a \cdot \left(\frac{\theta}{90}\right)^\alpha - b \cdot \left(\frac{\theta}{90}\right)^\beta - c \cdot \left(\frac{\theta}{90}\right)^\gamma \quad (5.1.2)$$

Hvor

θ er indfaldsvinklen i grader

Koefficienterne a , b og c samt eksponenterne α , β og γ beregnes som

$$a = 8 \quad (5.1.2a)$$

$$b = \frac{0,25}{q}$$

$$c = 1 - a - b$$

$$\alpha = 5,2 + 0,7 \cdot q$$

$$\beta = 2$$

$$\gamma = 5,26 + 0,06 \cdot p + (0,73 + 0,04 \cdot p) \cdot q$$

Hvor

p er antal ruder i vinduet

q repræsenterer en vindues kategori (1-10), se /10/

5.1.3 Effektive indfaldsvinkler

Ovenstående metoder kan uden videre anvendes på direkte solstråling, fordi indfaldsvinklen heraf er entydigt bestemt. Men hvilke indfaldsvinkler skal anvendes til at beregne korrektionsfaktorer for det diffuse og reflekterede solindfald? Det er almindeligt at antage en effektiv indfaldsvinkel på 60° for disse, hvilket giver $f_{dif\theta,f} = f_{ref\theta,f} = 0,84$ iflg. BSIMs metode

Det gives imidlertid formler i /11/ til at bestemme effektive indfaldsvinkler, som tager hensyn til fladens hældning.

$$\theta_{eff,dif} = 59,7 - 0,1388 \cdot \gamma_f + 0,001497 \cdot \gamma_f^2 \quad (5.1.2b)$$

$$\theta_{eff,ref} = 90,0 - 0,5788 \cdot \gamma_f + 0,002693 \cdot \gamma_f^2$$

Hvor

γ_f er fladens hældning i grader

Programmet kan anvende begge metoder.

5.1.4 Klimafilens vinkelkorrektionsfaktorer

De netop beskrevne formler giver os vinkelkorrektionsfaktorer, F_θ , for forskellige fladehældninger og orienteringer i hver måned. Be10 anvender ikke denne størrelse direkte, men opdeler den i to faktorer:

$$F_\theta = F_W \cdot F_\alpha \quad (5.1.4)$$

F_W er blot en konstant på 0,86, imens f_α er værdien som findes i tabel 3. Hvorfor det er gjort på denne måde vides ikke, men det betyder, at alle de beregnede vinkelkorrektionsfaktorer må divideres med 0,86 førend de indsættes i tabel 3.

$$F_\alpha = \frac{F_\theta}{F_W} = \frac{F_\theta}{0,86} \quad (5.1.4a)$$

5.1.5 Tabt solenergi

I mange simuleringsprogrammer er det muligt at definere en faktor som tager højde for at den beregnede indkomne solenergi går tabt enten fordi vinduet er snavset eller pga. refleksioner fra gardiner og andet. I BSIM er der også mulighed for dette og denne værdi er som udgangspunkt sat til at 10 % af den indkomne solenergi går tabt. Dette tab indgår på nogen naturlig måde i Be10, og heller ikke skyggefaktorerne tager højde for dette. Det er dog muligt at inkorporere et sådant tab i vinkelkorrektionsfaktor ved at modificere formel 5.1.4a på følgende måde:

$$F_\alpha = \frac{F_\theta}{0,86 \cdot \left(1 - \frac{TAB}{100}\right)} \quad (5.1.5)$$

Hvor

TAB er tabet af den indkomne solenergi i procent

Det er sådan vinkelkorrektionsfaktoren beregnes i Vejr10 og som standard regnes med et tab på 5 %, men dette kan ændres af brugeren.

5.2 Skyggefaktorer

Be10 tager højde for skygger ved at indføre skyggefaktorer, som multipliceres med solindfaldet for at korrigere dette.

$$Q_{sk,f} = Q_{t,f} \cdot F_{s,h} \cdot F_{s,u} \cdot F_{s,l} \cdot F_{s,r} \cdot F_{s,v} \quad [kWh/m^2] \quad (5.2)$$

Hvor

$Q_{sk,f}$ er det skyggekorrigerede transmitterede solindfald [kWh/m^2]

$Q_{t,f}$ er det transmitterede solindfald (uden skygger) [kWh/m^2]

$F_{s,h}$ er en skyggefaktor for horisont [-]

$F_{s,u}$ er en skyggefaktor for udhæng [-]

$F_{s,l}$ er en skyggefaktor for venstreskygge [-]

$F_{s,r}$ er en skyggefaktor for højreskygge [-]

$F_{s,v}$ er en skyggefaktor for vindueshul [-]

Det transmitterede solindfald, $Q_{t,f}$, blev beregnet i forrige afsnit formel 5.1, og er korrigeret for soltransmissionens vinkelafhængighed men ikke for skyggepåvirkning.

Det bør bemærkes at ovenstående formel antager, at hver skyggefaktor ikke afhænger af de øvrige skyggefaktorer. Dette er imidlertid ikke en korrekt antagelse, idet nogle skygger i visse tilfælde dækker samme område, og der kan derfor forekomme en for høj korrektion, når flere skygger relateres til samme vindue. Der gøres i øvrigt opmærksom på dette i en note i ISO 13790:

"The shading by different obstacles can coincide, partly or as a whole. Consequently, adding the shading reduction factors can significantly overestimate the shading" – side 60, 2 udgave (2008).

På trods af dette problem, må vi i det følgende antage, at hver skyggefaktor kan beregnes isoleret, da beregningskernen i Be10 forudsætter dette. Hermed findes en skyggefaktor af følgende:

$$F_s = \frac{Q_{sk,f}}{Q_{t,f}} \quad (5.2a)$$

Som sagt sættes alle skyggefaktorer lig 1, på nær netop den, der beregnes. Det transmitterede solindfald, $E_{t,f}$, blev beregnet i forrige afsnit, og det skyggekorrigerede solindfald kan beregnes som:

$$Q_{sk,f} = \frac{1}{1000} \cdot g \cdot \sum_{m,dr} (I_{dir,f} \cdot f_{s,dir} \cdot f_{dir\theta,f} + I_{dif,f} \cdot f_{s,dif} \cdot f_{dif\theta,f} + I_{ref,f} \cdot f_{s,ref} \cdot f_{ref\theta,f}) \cdot \left(1 - \frac{TAB}{100}\right) \quad (5.2b)$$

Hvor

$Q_{sk,f}$	er det månedslige skyggekorrigerede solindfald [kWh/m^2]
$I_{dir,f}$	er det direkte solindfald på fladen [W/m^2]
$f_{s,dir}$	er skyggefaktor for direkte solindfald [-]
$f_{dir\theta,f}$	er en vinkelkorrektionsfaktor for direkte solstråling [-]
$I_{dif,f}$	er det diffuse solindfald på fladen [W/m^2]
$f_{s,dif}$	er skyggefaktor for det diffuse solindfald [-]
$f_{dif\theta,f}$	er en vinkelkorrektionsfaktor for den diffuse solstråling [-]
$I_{ref,f}$	er det reflekterede solindfald på fladen [W/m^2]
$f_{s,ref}$	er skyggefaktor for det reflekterede solindfald [-]
$f_{ref\theta,f}$	er en vinkelkorrektionsfaktor for den reflekterede solstråling
TAB	er tabet af den indkomne solenergi i procent

Som det fremgår, så involverer det skyggekorrigerede transmitterede solindfald både vinkelkorrektions- og skyggekorrigeringsfaktorer, samt mulighed for at inkludere et yderligere tab.

5.2.1 Diffus og reflekteret solstråling

Det antages ofte, at skyggende objekter producerer samme mængde stråling pga. refleksioner, som de blokerer af diffust og reflekteret stråling. Derfor sættes $f_{s,dif} = 1$ og $f_{s,ref} = 1$, hvilket er i overensstemmelse med ISO 13790.

5.2.1 Direkte solstråling

For alle typer af skygger på nær vindueshuller sættes $f_{s,dir} = 1$, hvis solen er fri af objektet i et givent tidsskridt, mens $f_{s,dir} = 0$, når solens position er bagved objektet. Hvis fx solhøjden er lavere end horisonten, så sættes $f_{s,dir} = 0$ i denne time, og blokerer derved den direkte sol fuldstændig. Dette er en tilnærmelse, fordi der ofte vil være dele af vinduet der er dækket af skygge, mens andre ikke er. En detaljeret metode kræver imidlertid geometriske detaljer om vinduet, som ikke gives i Be10.

Vindueshuller beregnes anderledes, fordi der her gives geometriske oplysning om vinduet i form af et forhold mellem vinduesfalsens dybde og vinduets højde eller bredde (den mindste af disse). Derfor kan arealet af den skyggede del estimeres, som funktion af indfaldsvinklen. $f_{s,dir}$ kan derfor kontinuerligt

antage værdier mellem 0-1, som et udtryk for, at det kun er dele af vinduet der er dækket af skygge.
Følgende formel benyttes hertil:

$$f_{sv,dir} = 1 - \frac{X_{hul}}{\tan^{-1}\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)} \quad \text{hvis } \theta < \frac{\pi}{2} - \tan X_{hul} \quad (5.2.1)$$

$$f_{sv,dir} = 0 \quad \text{hvis } \theta \geq \frac{\pi}{2} - \tan X_{hul}$$

Hvor

$f_{sv,dir}$	er skyggefaktor for direkte solindfald for vindueshul [–]
X_{hul}	er vinduesfalsens dybde i forhold til vinduets højde/bredde (mindste af disse)
θ	er indfaldsvinklen i radianer

5.3 Solafskærmningsfaktor (styringsfaktor)

Be10 tager højde for aktiv solafskærmning ved at fratække noget solenergi fra den indkomne solenergi uden solafskærmning.

$$Q_{sol,f} = Q_{sk,f} - Q_{afs,f} \quad (5.3)$$

Hvor

$Q_{sol,f}$	er det resulterende soltilskud [kWh/m^2]
$Q_{sk,f}$	er det månedslige skyggekorrigerede solindfald [kWh/m^2]
$Q_{afs,f}$	er det afskærmede solindfald [kWh/m^2]

Q_{sol} er det resulterende soltilskud efter der er korrigeret for indfaldsvinkel, tab, skygger og solafskærmning. Det skyggekorrigerede solindfald, $Q_{sk,f}$, blev gennemgået i forrige afsnit. $Q_{afs,f}$ er den solenergi, der afskærmes og som derfor skal fratækkes $Q_{sk,f}$. Be10 beregner den afskærmede andel således:

$$Q_{afs,f} = (1 - |F_c|) \cdot (1 - f_{afs}) \cdot Q_{sk,f} \quad [kWh/m^2] \quad (5.3a)$$

Hvor

F_c	er en solafskærmningsfaktor [–]
f_{afs}	er en styringsfaktor [–]
$Q_{sk,f}$	er det månedslige skyggekorrigerede solindfald [kWh/m^2]

F_c er afskærmningsfaktoren, som indtastes af brugeren i Be10's vinduesskema. Dette er en materialeegenskab ved den pågældende solafskærmning, som angiver forholdet mellem solstråling, der kommer gennem afskærmningen i forhold til den samlede solstråling på ydersiden af afskærmningen.

Værdien 1 betyder ingen solafskærmningen, mens 0 betyder en fuldstændig uigennemsigtig solafskærmning (se i øvrigt SBI anvisning 213). Afskærmningsfaktoren har imidlertid kun betydning så længe solafskærmningen er aktiv, hvilket bestemmes af styringsfaktoren f_{afs} .

f_{afs} er en faktor, som ikke indtastes af brugeren, men som findes i klimafilen, og er ikke en materialeegenskab. Det er i stedet en faktor, der afgør, hvor stor meget solstråling, der kommer ind på ruden mens afskærmningen er inaktiv (OFF) i forhold til den samlede mængde. Dette afhænger både af, hvordan afskærmningen styres samt det aktuelle vejr. Faktoren beregnes således:

$$f_{afs} = \frac{Q_{t,f,OFF}}{Q_{t,f}} \quad (5.3b)$$

Hvor

$Q_{t,f}$	er det transmitterede solindfald (uden skygger) [kWh/m^2]
$Q_{t,f,OFF}$	er det transmitterede solindfald mens afskærmningen er inaktiv (uden skygger) [kWh/m^2]

I SBI anvisning 213 står der beskrevet, at solafskærmningen altid antages aktiv, når der er direkte sol på vinduet.

I de fleste simuleringsprogrammer er det muligt at styre afskærmningen efter et bestemt sætpunkt. I Vejr10 er det muligt at vælge et sætpunkt, hvor solafskærmningen aktiveres. Sætpunktet angiver mængden af direkte sol, der skal være til stede på ruden, førend afskærmningen aktiveres. Valget af sætpunkt kan have stor betydning for f_{afs} .

f_{afs} beregnes ifølge formel 5.3b og $Q_{t,f,OFF}$ findes simpelthen ved at summere solindfaldet i alle timer, hvor afskærmningen er inaktiv.

Den her beskrevne metode til beregning af solafskærmningsfaktoren har den ulempe, at der ikke tages hensyn til skygger. Derfor kan der endnu engang ske en over-korrektion i visse tilfælde. Hvis der fx er skyggende objekter, som tager en del af den direkte sol, så vil solafskærmningen ikke være aktiv i disse perioder, men dette forhold afspejles ikke i f_{afs} , som stadig indregner den direkte sol i faktoren, og derfor vil overestimere afskærmningens betydning.

6. Illuminans

Den udvendige horisontale illuminans er beregnet på baggrund af den udvendige horisontale diffuse solstråling. Der anvendes kun den diffuse solstråling, fordi dette forudsættes af dagslysfaktor metoden, som er den metode Be10 anvender i sine dagslysberegninger.

Der er anvendt en metode beskrevet af Perez /5/, som benytter følgende formel:

$$L_{difH} = I_{difH} \cdot [a(\epsilon_c) + b(\epsilon_c) \cdot W + c(\epsilon_c) \cdot \cos Z + d(\epsilon_c) \cdot \ln \Delta] \quad (6)$$

Hvor

L_{difH}	er den horisontale diffuse illuminans [<i>Lux</i>]
I_{difH}	er den horisontale diffuse solstråling [W/m^2]
ϵ_c	er en kategori for himlens klarhed (se tabel 8)
W	er luftens indhold af udfældeligt vand [<i>cm</i>]
Δ	er himlens lyshed [-]
Z	er sol Zenith i radianer

Koefficienterne a, b, c og d afhænger af kategorien for himlens klarhed, og kan findes i tabellen nedenunder.

ϵ_c	a	b	c	d
1	97,24	-0,46	12,00	-8,91
2	107,22	1,15	0,59	-3,95
3	104,97	2,96	-5,53	-8,77
4	102,39	5,59	-13,95	-13,90
5	100,71	5,94	-22,75	-23,74
6	106,42	3,83	-36,15	-28,83
7	141,88	1,90	-53,24	-14,03
8	152,23	0,35	-45,27	-7,98

4. Kilder

- /1/ K.Scharmer og J.Greif (2000), "*The European Solar Radiation Atlas – Vol 1: Fundamentals and Maps*", Ecole des Mines de paris.
- /2/ J.A.Duffie og W.A.Beckmann (2001), "*Solar engineering of thermal processes. John Wiley & sons, INC., New York*".
- /3/ H.Lund (1985), "*Short Reference Year and Test Reference Years for EEC Countries – Final Report*", Technical University of Denmark.
- /4/ R.Foster, M.Ghassemi og A.Cota (2010), "*Solar Energy – Renewable Energy and the Environment*", Energy and the Environment Series.
- /5/ R.Perez, P.Ineichen og andre (1990), "*Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct and Global Irradiance*", Solar Energy Vol. 44, No.5 pp.271-289.
- /6/ Wikipedia (2014), http://en.wikipedia.org/wiki/Dew_point.
- /7/ F.Kasten og A.T.Young (1989), "*Revised optical air mas stables and approximation formula*", Optical Society of America.
- /8/ H.E.Hansen, P.Kjerulf-Jensen og O.B.Stampe (1997), "*Varme- og Klimateknik - Grundbog (2.udgave)*", Danvak.
- /9/ T.R.Nielsen og S.Svensen (2003), "*Harmonisering af grundlaget for beregning af energitilskuddet fra vinduer*", DTU-BYG.
- /10/ J.Karlsson og A.Roos (2000), "*Modelling the Angular Behaviour of the Total Solar Energy Transmittance of Windows*", Solar Energy Vol. 69, No 4, pp. 321-329.