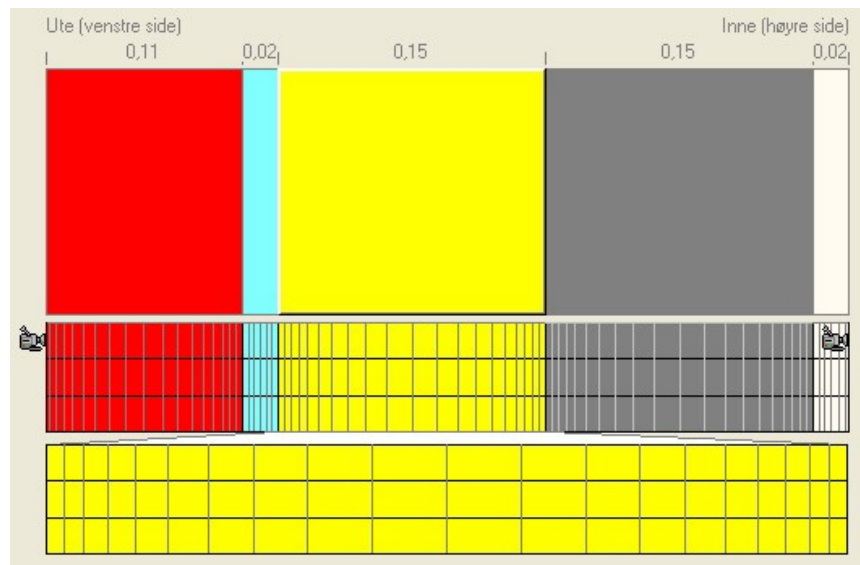


WUFI 1D Pro 4.1

Brukermanual



Institutt for bygg, anlegg og transport
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Oktober 2007

WUFI 1D Pro 4.1 Brukermanual

Jan Vincent Thue¹⁾, Mikkel Oustad¹⁾ og Arild Gustavsen²⁾

¹⁾ Institutt for bygg, anlegg og transport

²⁾ Institutt for byggekunst, historie og teknologi

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Dette heftet skal fungere som en støtte for nye brukere av WUFI-1D Pro 4.1 – Norsk versjon. Ved behov for ytterligere støtte kan ”online-hjelp”-funksjonen i WUFI-1D Pro 4.1 benyttes. Man kan også få hjelp ved å kontakte hjelp@wufi.no eller ved å stille spørsmål på WUFI Forum (<http://153.96.181.7/WUFIForum/index.php>).

© NTNU

Oktober 2007

(Revidert sist: 2008-02-26/JVT)

Denne brukermanualen er utarbeidet med økonomisk støtte av Husbanken i prosjektet "Varme og fukttransport i bygninger - betydning for innemiljø".

WUFI 1D Pro 4.1 er utviklet ved Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen, Tyskland. SINTEF Byggeforsk og NTNU distribuerer den norske versjonen av programmet.



Fraunhofer Institut
Bauphysik



Innhold

1	INSTALLASJON	4
1.1	SYSTEMKRAV	4
1.2	INSTALLASJONSVEILEDNING	4
2	INTRODUKSJON	5
3	BEREGNINGSPROSJEKT - SKRITT FOR SKRITT	6
3.1	GRENSESNIITT	6
3.2	PROSJEKTINFORMASJON	7
3.3	SAMMENSTILLING AV BYGNINGSKOMPONENT	7
3.3.1	<i>Materialdata</i>	9
3.3.2	<i>Konstruksjonsdatabase</i>	11
3.3.3	<i>Hygrotermiske kilder</i>	12
3.4	ORIENTERING/HELNING/HØYDE	14
3.5	OVERFLATERS OVERGANGSKOEFFISIENTER	15
3.6	STARTBETINGELSER	16
3.7	BEREGNINGSINSTILLINGER	17
3.7.1	<i>Beregningsperiode</i>	17
3.7.2	<i>Numeriske alternativer</i>	17
3.8	KLIMABETINGELSER INNE OG UTE	18
3.8.1	<i>Tilordning av uteklima</i>	19
3.8.2	<i>Tilordning av inneklima</i>	20
3.9	RESULTATER	23
3.9.1	<i>Filmframvisning</i>	23
3.9.2	<i>Resultatgrafer</i>	23
3.9.3	<i>Eksport av data</i>	25
3.10	KVALITETSSIKRING AV RESULTATER	25
4	BAKGRUNN	26
4.1	BEREGNINGSMODELL	26
5	REFERANSER	27
	Vedlegg 1: Fastlegging av kildestyrke for en ventilasjonskilde	28
	Vedlegg 2: Langbølget strålingsutveksling	29

1 Installasjon

1.1 Systemkrav

Proseszor:	IBM-kompatibelt system med pentium prosessor
Grafikkort:	Minimum High Color (16 bit) fargedybde
Lagringsplass:	Minimum 100 MB fri lagringsplass
CD-Rom	Ja
Operativsystem:	Windows NT4 (SP6), Windows 2000, Windows XP, Windows Vista

Bruk av WUFI med **Win2000** eller **XP**:

Medlemskap i gruppen Administrators er nødvendig for installering.

For kjøring av programmet anbefales medlemskap i gruppen Power users.

Bruk av WUFI med **Windows Vista**:

Utprøving med Windows Vista (Business Version) har gitt følgende resultater:

- Online hjelp systemet som brukes i WUFI 4.1 støttes ikke lenger av Windows Vista. Microsoft tilbyr nedlasting av hjelp-viseren (WinHlp32.exe) fra sin nettside.
For mer informasjon se:
<http://support.microsoft.com/kb/917607>
- En tidsbegrenset installasjon (ORNL og LIGHT versjon) kjører kun med administrator rettigheter.
- Pre-installerte eksempelprosjekter kan kun overskrives med administrator rettigheter. Forsøk på skrive tilgang til fil uten tilstrekkelige rettigheter fører til "Access violation".
- Utprøvingen fortsetter... (se også relevant emne i WUFI forum, <http://153.96.181.7/WUFIForum/viewtopic.php?t=120>)

1.2 Installasjonsveiledning

1. Legg CD'en i CD/DVD-ROM-stasjonen. Installasjonsprogrammet starter automatisk. (Dersom dette ikke skjer; kjør filen Start.exe fra rotkatalogen på CD'en)

2. Installasjonsprogrammet undersøker systemet for nødvendige komponenter: Microsoft Explorer ver. 6.0 og Microsoft Access MDAC ver. 2.5.

Dersom noen av disse komponentene mangler kan de installeres ved å velge de i neste skjermbilde.

3. Velg "WUFI 4.1 Pro" og følg videre installasjonsveiledning på skjermen.

2 Introduksjon



Beregning av varmetransport er vanlig å gjøre for vurdering av temperaturforhold og varmetap i bygningskomponenter og som grunnlag for beregning av energibehov til oppvarming. Ofte er det også ønskelig å kunne beregne hvordan fuktforholdene i en konstruksjon utvikler seg over tid, med sikte på vurdering av uttørkingstid, kondensfare, risiko for fuktskader og lignende.

Fukt- og varmetransporten i en bygningsdel påvirker hverandre. Et høyt fuktinnhold øker varmekonduktiviteten for materialene, fordamping og kondensasjon innvirker på temperaturen og temperaturforskjeller gir opphav til fukttransport. For å få et best mulig bilde av forholdene bør derfor varme- og fukttransport betraktes i sammenheng.



Den såkalte Glaser-metoden (NS-EN ISO 13788) har tidligere vært mye brukt for vurdering av fare for kondensproblemer og fuktinnhold i bygningsdeler. Denne metoden betrakter stasjonære (gjennomsnittlige) forhold, med vanddampdiffusjon som eneste transportmekanisme. Den inkluderer således ikke transport ved kapillærsuging og ser bort fra eventuell utfelt fuktmenge. Den stasjonære begrensningen innebærer at man ikke tar hensyn til materialenes varme- og fuktlagringsevne. Stråling og nedbør inkluderes heller ikke, noe som kan ha betydelig innvirkning på fukt- og varmetransporten i et reelt tilfelle. Metoden er dermed ikke egnet for vurdering av varme- og fuktforhold ved varierende, reelle klimabetingelser.



WUFI (" **W**ärme **u**nd **F**euchte **i**nstationär") er et menystyrt og brukervennlig PC-program, utviklet av Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), i Tyskland. Programmet gjør det mulig å utføre transiente beregninger (beregninger over tid) av hygrotermiske forhold i bygningskomponenter ved naturlige klimabetingelser.

WUFI baserer seg på den nyeste kunnskapen om fukttransport ved vanddampdiffusjon og kapillærledning i bygningsmaterialer. Programmet benytter både faste og fuktavhengige materialparametere i beregningsgrunnlaget. Det inkluderer også slagregn og stråling i de utvendige klimadata, og sørger for at klimabelastningen i større grad tilsvarer en realistisk situasjon. WUFI er verifisert gjennom omfattende sammenligninger med målinger i laboratorium og felt.

WUFI egner seg for vurdering av:

- Uttørkingstid for byggfukt
- Kondensfare i bygningskomponenter
- Virkning av slagregn mot utvendige overflater
- Innvirkning fra ombygging eller rehabilitering
- Hygrotermiske forhold i ytterkonstruksjoner ved variasjoner i klima eller ved ekstreme klimaforhold

WUFI er også et verktøy for utvikling og optimalisering av materialer og bygningskomponenter, og for alternativsvurderinger med hensyn til hygrotermiske funksjonsegenskaper i forskjellige påkjennings situasjoner.

WUFI brukes bl.a. av rådgivende ingeniører, arkitekter, byggevareprodusenter, forsikrings- og takstfolk, utdanningsinstitusjoner og personer med fagområde innen fuktteknikk.

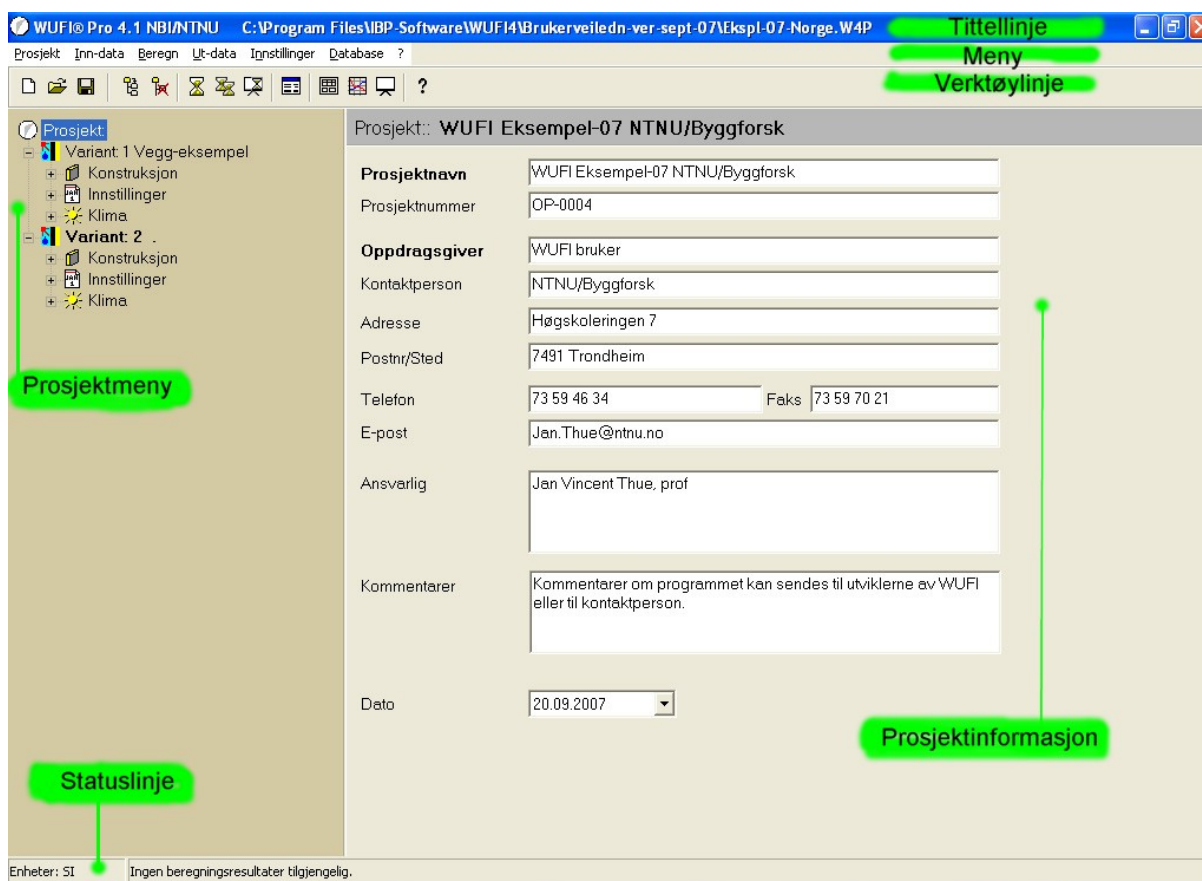
3 Beregningsprosjekt - Skritt for skritt

WUFI 1D trenger ulike inngangsdata for at en beregning skal kunne gjennomføres. Inngangsdataene kan grupperes i konstruksjonsoppbygning, materialparametere, klimadata, overgangskoeffisienter for ytre/indre overflate og startbetingelser. WUFI er bygget opp slik at alle nødvendige inndata enkelt kan velges fra menyer i en logisk rekkefølge. Imidlertid kan det være nødvendig å kjenne noe av bakgrunnen for de ulike parameterne, dersom noen bør redigeres i forhold til den aktuelle situasjonen man ønsker å beregne.

Dette kapittelet gir en kort innføring i bruk av WUFI 1D med ved en skrittvis gjennomgang av et eksempel på beregningsprosjekt i form av en skallmurkonstruksjon.

3.1 Grensesnitt

Brukergransnittet til WUFI 1D er utformet slik at det i størst mulig grad skal være selvforklarende. Figur 1 viser skjermbilde ved oppstart og forklaring av de mest sentrale funksjonene.

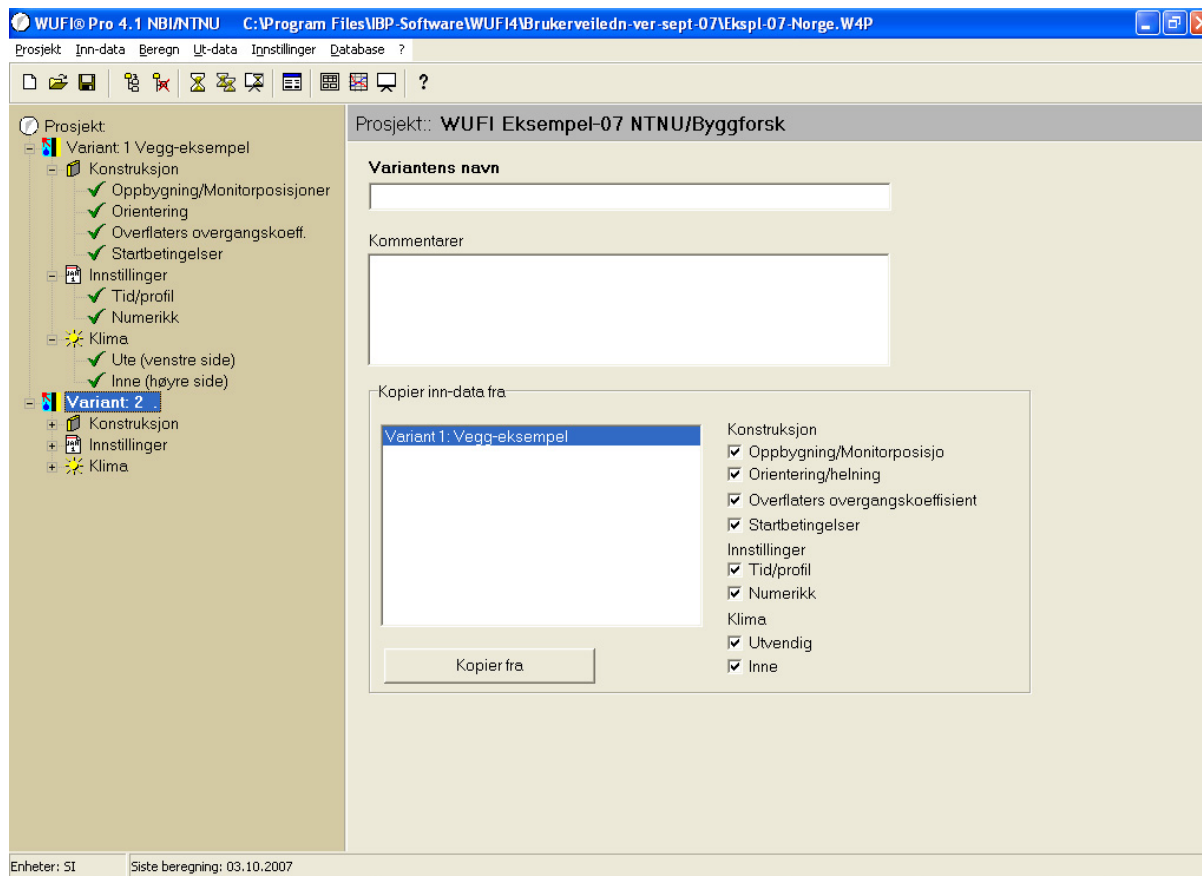


Figur 1 Skjermbilde ved oppstart.

- *Tittellinje*: Her blir programnavnet vist (WUFI 1D 4.1 Pro)
- *Meny*: Inneholder forskjellige hovedmenyer.
- *Verktøylinje*: Inneholder hyppig brukte kommandoer.
- *Prosjektmeny*: Logisk oppbygget meny i forhold til inngangsdata for hvert prosjekt. Inngangsdata legges inn ved at man går gjennom de enkelte punktene i prosjektmenyen sekvensielt, ovenfra og nedover, som beskrevet i det følgende.
- *Prosjektinformasjon*: Informasjon om navn, prosjektnummer, oppdragsgiver og notater.
- *Status*: Viser valgt enhetssystem og tidspunkt for siste beregning

3.2 Prosjektinformasjon

Prosjektinformasjon kan fylles ut for hvert beregningsprosjekt dersom dette er ønskelig. Hensikten med dette er at brukeren lettere kan skille ulike prosjekter fra hverandre. Det kreves for øvrig ikke prosjektinformasjon for at en beregning skal kunne gjennomføres. Mulige utfyllingsfelter for prosjektinformasjon framgår av figur 1.



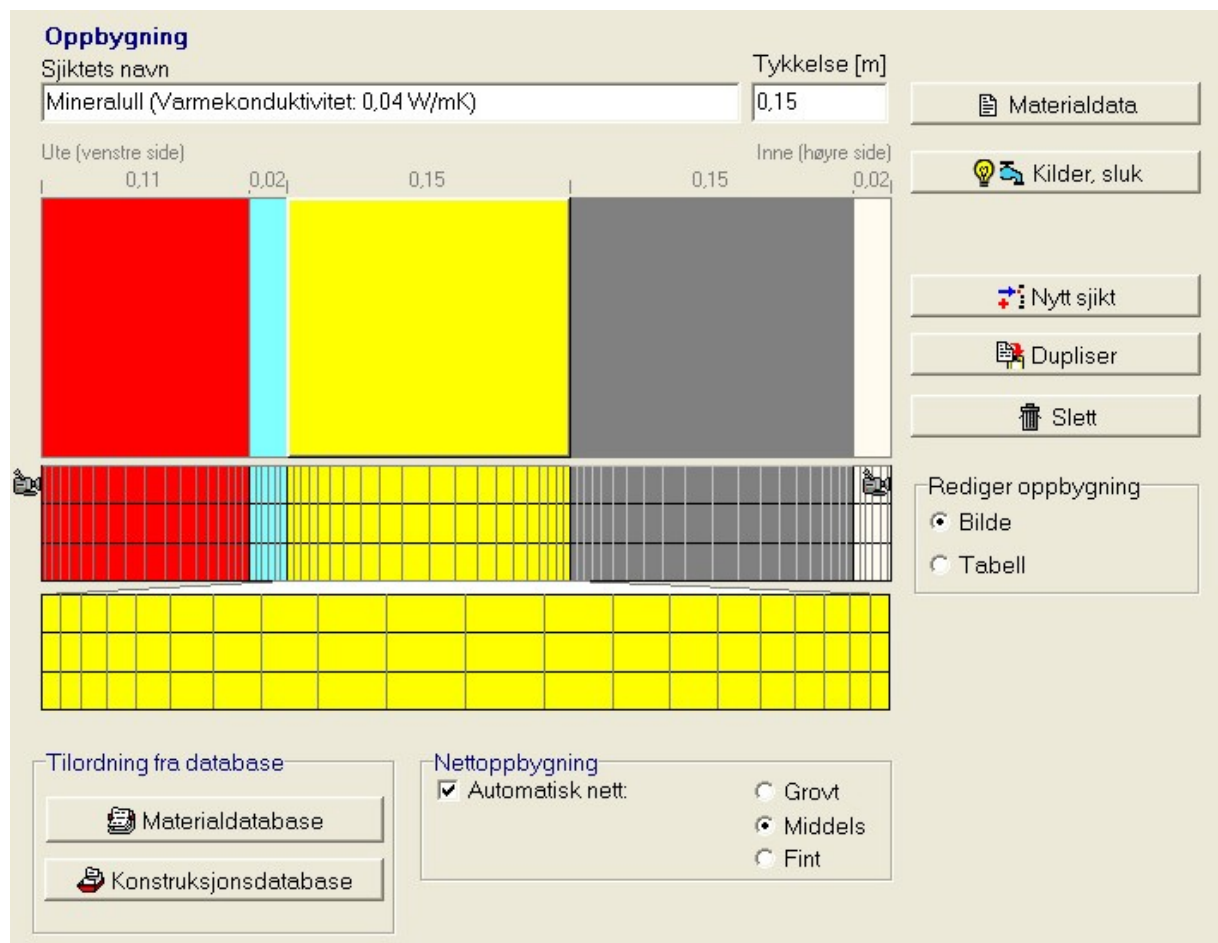
Figur 2 Variantbeskrivelse

Flere forskjellige konstruksjonsvarianter kan legges inn og beregnes under samme prosjekt. En ny variant legges til ved å trykke knappen "Ny variant" på verktøylinjen. Som grunnlag for inngangsdata til den nye varianten kan data fra tidligere innlagte varianter kopieres, for deretter å modifiseres, se figur 2.

3.3 Sammenstilling av bygningskomponent

Sammenstillingen av konstruksjonen utføres ved å sette sammen en endimensjonal sekvens av materialsjikt som til sammen utgjør hele snittet av bygningskomponenten. Sammenstillingen skjer i rekkefølge utenfra og innover ved bruk av knappen "Nytt sjikt". Utvendig side er alltid til venstre i figuren og nytt sjikt blir alltid lagt til innerst, dvs. til høyre. Først defineres hvert lag med tykkelse og materialparametere (se kap. 3.3.1 om tilordning av materialdata), deretter deles hvert lag inn i et rutenett. Figur 3 viser et eksempel på sammenstilling av en konstruksjon.

Ønsker man å slette et sjikt, kan det gjøres ved å klikke på sjiktet i figuren midt i skjermbildet og benytte "Slett"-knappen.



Figur 3 Sammenstilling av bygningskomponent.

Laginndeling og fastsettelse av tykkelser foregår interaktivt ved et grafisk brukergrensesnitt. Rutenettinndeling kan genereres automatisk ved å velge "grovt", "middels", eller "fint" rutenett. En fin inndeling krever større regnekraft, men reduserer risikoen for numeriske problemer. Dagens PC'er klarer imidlertid å gjennomføre de fleste beregningsprosjekter i løpet av minutter. Det kan derfor være greit å velge et "fint" eller "middels" fint rutenett for å eliminere muligheter for regnefeil (Se også kap. 3.10).

Alternativt kan materialdata og rutenettinndeling redigeres manuelt – trykk "Tabell" i boksen "Rediger oppbygning" til høyre. Redigering av automatisk rutenett vil normalt bare være nødvendig ved spesielle situasjoner med uforholdsmessige mange konvergensfeil¹ i beregningsresultatene (se også Hjelp-funksjonen i WUFI). Figur 4 viser redigering av materialsjikt og rutenett med tabellvisning.

En "monitorposisjon" angir et sted/punkt i konstruksjonen hvor man er spesielt interessert i å følge med utviklingen av fukt- og temperaturforholdene over tid. Forholdene i de valgte monitorposisjonene kan framstilles i spesielle grafer etter fullført beregning.

¹ Konvergensfeil er numeriske problem som kan oppstå på grunn av iterasjonsmetoden som brukes for løsning av transportligningene i WUFI-1D. Noen ganger kan beregningen nå det maksimale antall iterasjoner uten at løsningen tilfredsstiller sluttkriteriet i beregningstrinnet. Det totale antallet konvergensfeil i en beregning gir en pekepinn om beregningens pålitelighet. Se også kap. 3.10.

Oppbygning		
Nr.	Sjikt/Material (utenfra og innover)	Tykkelse [m]
1	Murverk av massivtegl	0,11
2	Luftsjikt 20 mm	0,02
3	Mineralull (Varmekonduktivitet: 0,04 W/mK)	0,15
4	Betong B45	0,15
5	Kalksementpuss	0,02

Underdeling: Mineralull (Varmekonduktivitet: 0,04 W/mK)					
Nr.	Tykkelse [m]	Antall elem.	Eksp. faktor	Første elem.	Siste elem.
3.1	0,075	10	1,1784	0,0032	0,0141
3.2	0,075	10	0,8486	0,0141	0,0032

Tilordning fra database

Materialdatabase

Konstruksjonsdatabase

Nettoppbygning

Automatisk nett: Grovt Middels Fint

Kopier aut. underdeling for manuell redigering

Materialdata

Kilder, sluk

Nytt sjikt

Dupliser

Slett

Rediger oppbygning

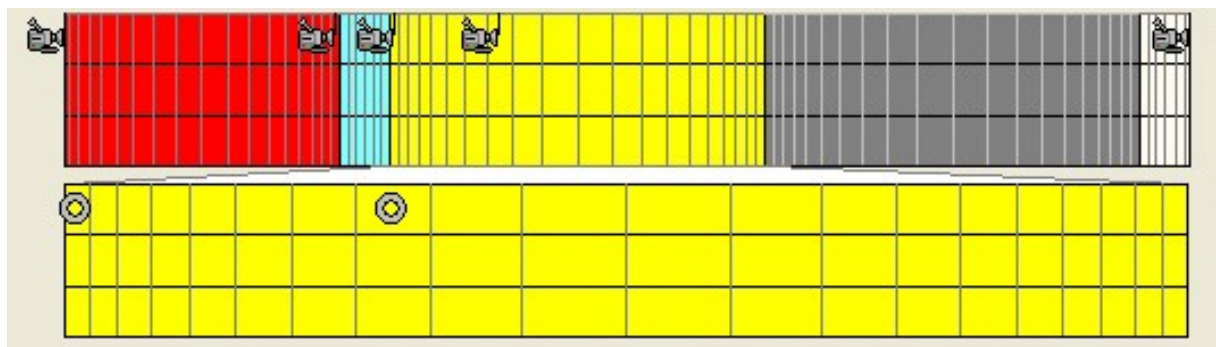
Bilde Tabell

Tabell: underdeling

Nettoppbygning Monitorposisjoner

Figur 4 Redigering av materialsjikt og rutenett i tabellvisning.

Monitorposisjoner kan velges grafisk (figur 5), eller ved å plote posisjonene i tabell (figur 4). Figur 5 viser valgte monitorposisjoner i mineralullsjiktet. Med "bilde"-visning kan en monitorposisjon legges inn eller fjernes ved å klikke på angjeldende element i øverste linje av det tredelte figurvinduet nederst, som viser det valgte sjiktet. WUFI legger automatisk inn en monitor i utvendig og innvendig overflate av komponenten.



Figur 5 Utplassering av monitorposisjoner i mineralullsjiktet.

3.3.1 Materialdata

Materialegenskaper for hvert sjikt hentes fra WUFI's materialdatabase eller ved opprettelse av egne materialer. Databasen er delt i kataloger med blant annet materialtyper fra ulike kilder. Det finnes også en egen katalog for typisk norske bygningsmaterialer. Figur 6 viser skjermbilde av materialdatabasen.

Materialegenskaper for et sjikt velges ved å markere aktuelt materiale i materialtabellen og benytte knappen "Bruk". **Merk spesielt** feltet "Info-tekst" nederst på skjermen når et materiale velges. Enkelte materialtyper (gjelder spesielt folier og lignende) må alltid gis

en fast tykkelsesverdi, som da er angitt i dette feltet. For slike materialtyper vil tykkelse som avviker fra verdien angitt i Info-feltet medføre at sjiktet får feil egenskapsverdier.

Nr.	RF [-]	Vanninnhold [kg/m³]
1	0,0	0,0
2	0,5	4,4
3	0,65	5,7
4	0,8	9,2
5	0,93	18,5
6	0,99	74,0
7	0,997	240,0
8	0,999	280,0

Figur 6 Materialdatabase.

Basisparametere

Basisparametere angir et materiales egenskaper i tørr tilstand, og må angis for at en beregning kan settes i gang. Materialene kan velges direkte fra WUFI's materialdatabase, eller redigeres til ønskede verdier. Basisegenskapene består av:

- Romdensitet [kg/m^3],
- Porøsitet [m^3/m^3],
- Spesifikk varmekapasitet for tørt materiale [J/kgK],
- Varmekonduktivitet for tørt materiale [W/mK],
- Relativ fuktmotstand (diffusjonsmotstand) for tørt materiale, μ [-]
(For et gitt materialsjikt er μ lik sjiktets s_d -verdi dividert på tykkelsen d .)

Fuktavhengige parametere

I tillegg til egenskaper i tørr tilstand benytter WUFI også parametere som endrer seg i forhold til fuktinnhold. I materialdatabasen har de kapillæraktive materialene komplette data for fuktavhengige egenskaper. De aktuelle parameterne er (betegnelser brukt i programmet er gitt i parentes):

- Sorpsjonskurve (Fuktlagringsfunksjon) (valgfri). Gir vanninnhold [kg/m^3] som funksjon av RF [-]. Kan bestemmes fra tabelldata, eller med utgangspunkt i fuktinnhold ved 80 % RF (referansefuktinnhold, se figur 7) og fri vannmetning.
- Fuktdiffusivitetskoeffisient (Væsketransportkoeffisient) for oppsuging av fritt vann [m^2/s] (valgfri). Kan bestemmes fra tabelldata eller genereres fra fuktabsorpsjonskoeffisient.

- Fuktdiffusivitetskoeffisient (Væsketransportkoeffisient) for omfordeling [m^2/s] (valgfri). Kan bestemmes fra tabelldata eller genereres fra fuktabsorpsjonskoeffisient.
- Fuktavhengig varmekonduktivitet [$\text{W}/\text{m K}$] (valgfri). Kan bestemmes fra tabelldata eller genereres som et lineært påslag (% endring i varmekonduktiviteten pr % endring i RF).
- Fuktavhengig relativ fuktmotstand (Vanndampdiffusjonsmotstand) μ [-] (valgfri). Angis i tabellform.

Samtlige parametere kan endres og legges til i materialdatabasen som et nytt materiale. Endring av materialeegenskaper kan gi til dels store utslag i beregningene. Dette medfører at man må skaffe seg oversikt over eventuell uheldig innvirkning ved redigering av ulike verdier. Figur 7 viser et skjermbilde av basis- og fuktavhengige parametere for murverk av massivtegl.

Sjikt/Materialdata

Sjikt/Materialnavn: Murverk av massivtegl

Materialdata | Info-tekst

Basisverdier

Romdensitet [kg/m^3]	1900,0
Porøsitet [m^3/m^3]	0,24
Spes. varmekapasitet, tørr [J/kgK]	850,0
Varmekonduktivitet tørr [W/mK]	0,6
Vanndampdiffusjonsmotstand [-]	10,0

Tilnæringsparameter

Referansecfuktinnhold [kg/m^3]	18,0
Fri vannmetning [kg/m^3]	190,0
Varmekonduktivitetpåslag [%/M.-%]	15,0

Typisk byggfukt [kg/m^3] 18,0

Farge Sjikttykkelse [m] 0,11

Fukteknisk egenskaper

Fuktlagringsfunksjon

Væsketransportkoeffisient, oppsuging
Væsketransportkoeffisient, omfordeling
Varmekonduktivitet, fuktavhengig
Vanndampdiffusjonsmotstand, fuktavhengig

Bilde | Tabell/rediger | fra fill

Tilnærm

Nr.	RF [-]	Vanninnhold [kg/m^3]
1	0,0	0,0
2	0,1	0,55
3	0,2	1,23
4	0,3	2,11
5	0,4	3,26
6	0,5	4,84
7	0,55	5,89

Copy

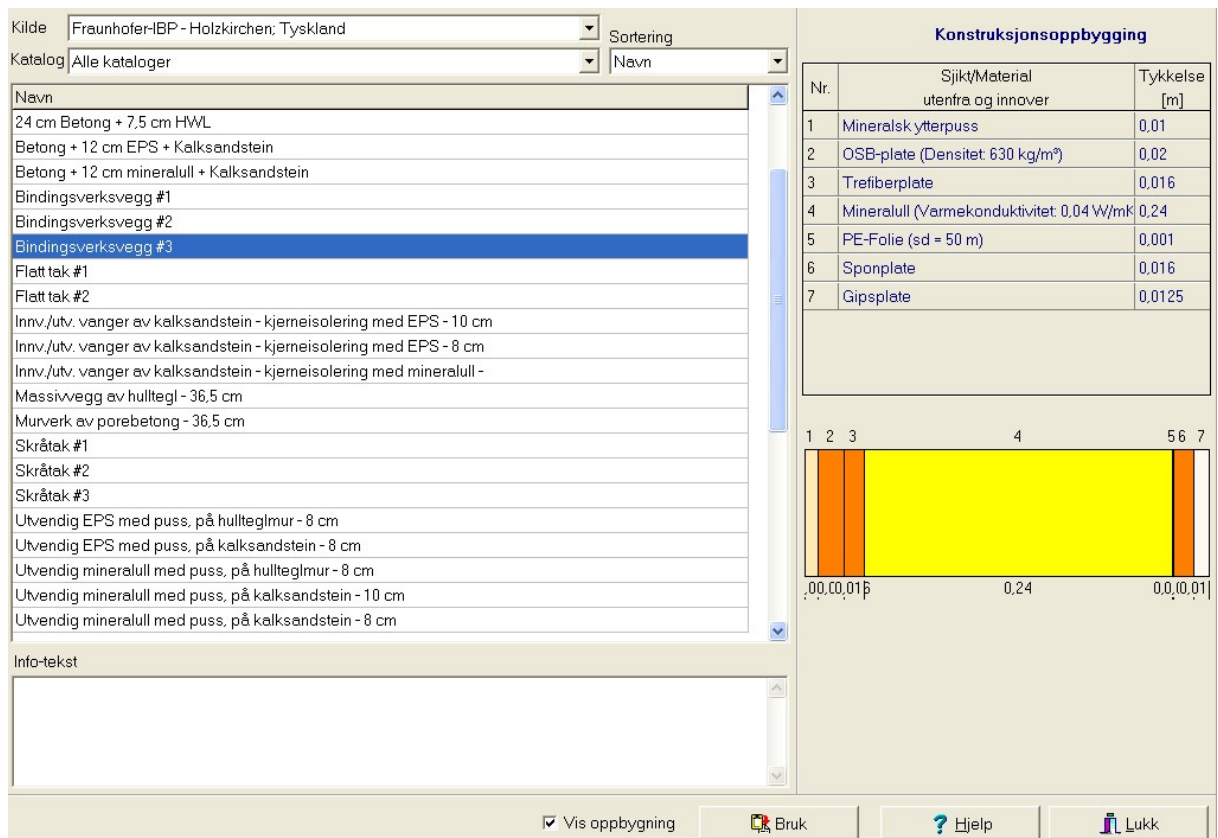
Ny
Slett
Kopier
Sett inn

Overfør til database | OK | Avbryt | Hjelp

Figur 7 Basis- og fuktavhengige materialparametere for et materiale.

3.3.2 Konstruksjonsdatabase

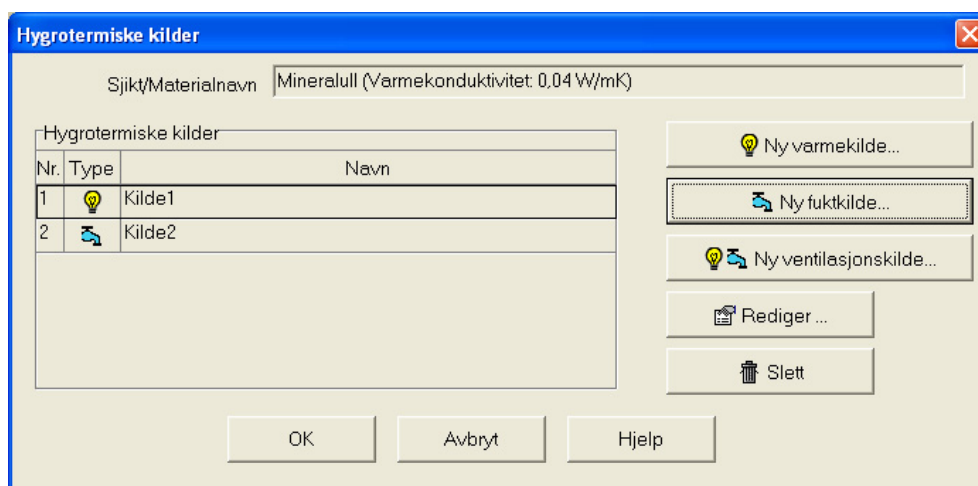
WUFI 1D inneholder en egen database med et utvalg av konstruksjoner, som kan benyttes direkte inn i et beregningsprosjekt, eventuelt som utgangspunkt for modifikasjoner i inngangsdata. Noen av disse er konstruksjonstyper som er vanlige i Norge. Figur 8 viser skjermbilde av konstruksjonsdatabasen i WUFI 1D.



Figur 8 Konstruksjonsdatabase.

3.3.3 Hygrotermiske kilder

Bruker kan spesifisere forskjellige typer kilder (eller sluk, dvs. kilder med negativ verdi) i det merkede sjiktet: varmekilder, fuktilder eller ventilasjonskilder. Hvert sjikt i komponenten har en liste med tilhørende kilder/sluk. Listen kan redigeres i dialogbildet vist i figur 9.

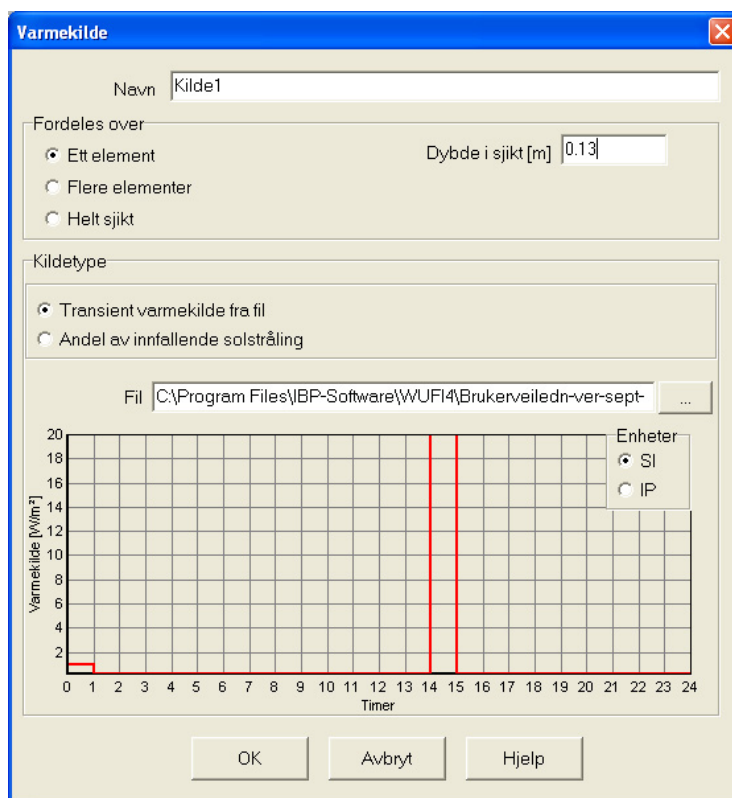


Figur 9 Innlegging av kilde/sluk i et sjikt.

Man kan legge til en ny kilde/sluk til listen ved hjelp av knappene "Ny varmekilde", "Ny fuktkilde" eller "Ny ventilasjonskilde". En ny kilde/sluk av korresponderende type blir da lagt til i listen, og et nytt dialogbilde, hvor man spesifiserer egenskapene for kilden/sluket, kommer opp, se figur 10.

Ved hjelp av knappene "Rediger" og "Slett" kan man endre egenskapene eller slette den kilden/sluket som er merket i listen

Merknad: WUFI light tillater ikke bruk av kilder/sluk.



Figur 10 Redigering av hygrottermiske kilder

I dialogbildet vist i figur 10 kan man spesifisere posisjon og egenskaper for kildene som er lagt til i det merkede sjiktet. Først må man angi kildens posisjon og utstrekning. En kilde kan være punktformet eller utstrakt. Ut fra hva som ønskes, velger man om kilden skal fordeles over ett nettelement, flere nettelementer eller hele sjiktet. Ønskes kilden i ett bestemt nettelement angis kildens dybde i sjiktet, ønskes kilden fordelt over flere nettelementer angis start- og sluttdybde for kildens utstrekning i sjiktet (dybde angis i meter, regnet fra sjiktets venstre grenseflate). WUFI vil tilordne kilden til nærmeste nettelement(er). Hvis kilden skal strekke seg over hele sjiktet vil den bli jevnt fordelt over alle elementene i sjiktet.

Det kan være flere varme- eller fuktkilder i et sjikt, med varmekilder kan ikke overlappes hverandre og det kan heller ikke fuktkilder. Det kan forekomme at to nabokilder overlapper, selv om ikke overlappende posisjon er angitt, dersom WUFI tilordner deres respektive endepunkter til det samme nettelementet (feilmelding: "overlappende kilder"). I slike tilfeller må man justere noe på endeposisjonene.

En ventilasjonskilde innebærer både en varmekilde og en fuktkilde, og denne typen kilde strekker seg alltid over hele sjiktet. Man kan ikke tilordne flere kilder til et sjikt med ventilasjonskilde.

Videre må man spesifisere hvordan kildestykken varierer med tiden:

- For varmekilder kan kildestykken leses inn fra fil, eller den kan avledes fra klimadata som en spesifisert andel av den innfallende solstrålingen.
- For fuktkilder kan kildestykken leses inn fra fil, eller den kan avledes fra klimadata som en spesifisert andel av innfallende slagregn.
- For ventilasjonskilder leses kildestykken fra fil. Med utgangspunkt i spesifiserte luftskifteverdier vil en ventilasjonskilde erstatte en andel av luften i

kildeposisjonen med uteluft. Avhengig av temperatur- og fuktforhold i komponenten og i uteluften vil varme og fukt bli transportert inn i eller ut av komponenten. Nærmere detaljer om hvordan WUFI beregner kildestyrken ut fra luftvekslingstall er gitt i vedlegg 1.

Filer som styrer kildestyrken er tekstfiler med en spalte for tidsaksen (i timer, verdiene må være i stigende rekkefølge) og en spalte for kildestyrken (i W/m^2 for varmekilder, $kg/s\ m^2$ for fuktkilder og $1/h$ for ventilasjonskilder; desimalseparator må alltid være desimalpunktum, uavhengig av systeminnstilling). Tidsspalten gir tidspunktet som den korresponderende kildestyrken gjelder fram til. For eksempel kan filen for en varmekilde ha følgende innhold:

1	1
14	0.2
15	20
24	0.2

Denne filen anger at kildestyrken er $1\ W/m^2$ i en time (fram til slutten av den første timen). Deretter er den $0,2\ W/m^2$ i 13 timer (fram til slutten av time 14), for ytterligere en time (til slutten av time 15) er den $20\ W/m^2$, og til slutt er den igjen $0,2\ W/m^2$ i 9 timer (fram til slutten av time 24). Dette forløpet er vist i skjermbildet på figur 10.

Filen leses så ofte som nødvendig, dvs. starter fra begynnelsen igjen når slutten er nådd. Eksempelfilen ovenfor beskriver således et forløp som gjentar seg dag for dag. En slik styrefil kan selvsagt også inneholde en annen tidsperiode, for eksempel to timer eller et helt år.

Merknad: Hvis man bruker en fuktkilde/sluk kan det forekomme at kilden forsøker å tilføre vann i et sjikt som allerede er mettet, eller den kan prøve å fjerne vann fra et sjikt som allerede har tørket. I begge tilfelle feiler beregningen, da dette er situasjoner som er fysisk umulige og det finnes da ingen matematisk løsning til transportligningene. I slike tilfeller stopper WUFI beregningen og gir feilmeldingen "Divergerende resultater". Man kan unngå denne typen problem ved å fordele kilden/sluket over et bredere område, alternativt kan man redusere styrken på kilden/sluket.

3.4 Orientering/helning/høyde

Orientering, helning og høyde må angis for konstruksjonen som skal studeres. Dette benyttes til beregning av påkjenningene fra uteklimaet, spesielt stråling og slagregn. Figur 11 viser et skjermbilde av eksempel på valg av orientering/helning/høyde for bindingsverksvegg i lav bygning.

Orientering av aktuell konstruksjon angis i forhold til hvilken himmelretning den utvendige side av konstruksjonen vender mot (N – NØ – Ø – SØ – S – V – V - NV). Helningen angis som vinkel i forhold til horisontal flate. For en vegg vil denne vinkelen dermed være 90° , og 0° for et flatt tak. Høyden til aktuell bygningsdel må angis i forhold til omtrentlig høyde på aktuell bygning (4 alternativer). Denne parameteren har betydning for beregning av slagregnpåkjenningen ut fra gitte klimadata.

Formuluttrykket som benyttes for beregning av slagregnpåkjenning ut fra regn (nedbør på horisontal flate) og vindbelastning er vist i skjermbildet. Koeffisientene $R1$ og $R2$ i formelen kan eventuelt endres fra de forhåndsinnstilte verdiene, dersom man har grunnlag for det.

Oppbygning/Monitorposisjoner | **Orientering/Helning/Høyde** | Overflaters overgangskoeff. | Startbetingelser

Orientering

Sydvest

Helning

Helning [°] 90

Bygningshøyde/Slagregnkoeffisient

Regnbelastning etter AHSPRAE Standard 160P

R1 [-] 0

R2 [s/m] 0,07

Forklaring:
Regnpåkjønning =
Regn*(R1 + R2*Vindhastighet)

Lav bygning, høyde inntil 10 m

Figur 11 Spesifisering av orientering/helning/høyde.

3.5 Overflaters overgangskoeffisienter

Overgangskoeffisienter for ytre og indre overflate kan velges fra forhåndsinnstilte alternativer i forhold til orientering og overflateegenskaper for vanlige bygningsmaterialer. Det er også mulig å redigere de ulike verdiene manuelt.

Oppbygning/Monitorposisjoner | Orientering/Helning/Høyde | **Overflaters overgangskoeff.** | Startbetingelser

Ytre overflate (venstre side)

Varmemotstand [m²K/W] 0,0588 Yttervegg

Vindavhengig inkluderer langbølgete strålingsbidrag

Sd-verdi [m] — Ingen overflatebehandling

Kortbølget strålingsabsorpsjonstall [-] 0,68 Teglstein, rød

Langbølget strålingsemissivitet [-] 0,9 Detaljer <<

Eksplisitt strålingsbalanse Slå på

Terreng, kortbølget refleksjonsgrad [-] 0,20

Terreng, langbølget emissivitet [-] 0,90

Terreng, langbølget refleksjonsgrad [-] 0,10

Skydekkeindeks [-] 0,66

Regnvannabsorpsjonstall [-] 0,7 I henhold til konstruksjonstype/helning

Indre overflate (høyre side)

Varmemotstand [m²K/W] 0,125 (Yttervegg)

Sd-verdi [m] — Ingen overflatebehandling

Figur 12. Overflaters overgangskoeffisienter.

Utvendig overflate:

- Varmeovergangsmotstand [m^2K/W] (evt. vindavhengig) - Standardverdi iht. konstruksjonstype. Kan redigeres manuelt.
- s_d -verdi [m] – Ekvivalent luftlagtykkelse (dampmotstand) for evt. utvendig overflatebehandling
- Kortbølget strålingsabsorpsjonstall [-]
- Langbølget strålingsemissivitet [-]
- Regnvannsabsorpsjonstall [-] – Beregnes fra "orientering/helning/høyde" eller angis manuelt.

Innvendig overflate

- Varmemotstand [m^2K/W] - Standardverdi iht. valgt konstruksjonstype. Kan redigeres manuelt.
- s_d -verdi [m] – Ekvivalent luftlagtykkelse (dampmotstand) for evt. innvendig overflatebehandling

Figur 12 viser et skjermbilde av valgmuligheter for ytre og indre overgangskoeffisienter. I denne versjonen av WUFI finnes mulighet for mer detaljert behandling av utvendig strålingsbalanse, dette er nærmere omtalt i Appendix 2.

3.6 Startbetingelser

Startbetingelser angir hvilke verdier materialsjiktene skal ha for temperatur og fuktinnhold ved start av beregning. Fuktinnholdet ved beregningsstart kan angis som:

- Typisk byggfukt
- Middelerdi i hele konstruksjonen (likevekt med f. eks 80 % RF)
- Fuktinnhold i hvert materialsjikt (kg/m^3)
- Innlesning fra fil

Startfuktinnhold må vurderes ut fra hvert enkelt tilfelle, og kan sjelden angis helt eksakt. Materialene i databasen har en angitt verdi for typisk byggfuktinnhold, som kan benyttes dersom man er i tvil om reelt startfuktinnhold.

Nr.	Materialsjikt	Tykkelse [m]	Fuktinnhold [kg/m^3]
1	Murverk av massivtegl	0,11	18,0
2	Luftsjikt 20 mm	0,02	0,0
3	Mineralull (Varmekonduktivitet: 0,04 W/mK)	0,15	0,0
4	Betong B45	0,15	150,0
5	Kalksementpuss	0,02	8,0

Figur 13 Startverdier for fuktinnhold og temperatur.

Startfuktinnholdet kan også angis som likevektsnivå med angitt RF for alle materialer. Valgt RF-verdi omregnes til absolutt fuktinnhold ved bruk av de ulike materialers sorpsjonsdata.

Dersom man kjenner startfuktinnholdet kan det være aktuelt å angi absolutt fuktinnhold for hvert enkelt materialsjikt, eller lese inn data fra fil.

Starttemperatur kan angis som et gjennomsnitt for hele konstruksjonen, eller leses inn fra fil. For fukt- og varmetransport i bygningskonstruksjoner vil denne parameteren vanligvis ha liten betydning fordi temperaturfordelingen jevner seg ut med utvendig og innvendig klima i løpet av relativt få timer. Det er dermed som regel tilstrekkelig å anslå en gjennomsnittsverdi som ligger et sted mellom ute- og innetemperatur. Figur 13 viser et skjermbilde av valgmuligheter for initialbetingelser.

3.7 Beregningsinstillinger

3.7.1 Beregningsperiode

Beregningsperioden angis med klokkeslett og dato ved start og slutt. Her kan man også legge til "profiler", dersom man ønsker å få ut resultater for fukt- og temperaturforhold gjennom bygningskomponenten ved spesielle tidspunkter i beregningsperioden. Merk at ved bruk av uteklimadata for referanseår (MDRY filer i WUFI, se kap. 3.8) så er årstallet uten betydning. Ved beregning over flere år gjentas referanseåret også det/de påfølgende år.

Valg av tidstrinn er satt til 1 time som standardverdi fordi tilgjengelige klimadata baseres på timesobservasjoner. For best nøyaktighet bør også tidstrinn i beregninger settes til en time. Figur 14 viser skjermbilde av valgmuligheter for beregningsperiode.

Beregning	Profiler	Dato
Start	Profil 1	01.07.2007
	Profil 2	01.01.2008
	Profil 3	03.10.2008
Slutt	Profil 4	03.10.2009

Tidstrinn [h] 1

Figur 14 Beregningsperiode.

3.7.2 Numeriske alternativer

De numeriske alternativene angir parametere som benyttes i beregningsmodellen. Figur 15 viser et skjermbilde av standardinnstillinger for valg av numeriske parametere.

Innstillinger for beregningstype angir om beregning av fukt- og varmetransport skal inkluderes. I "Hygrotermiske spesialinnstillinger" kan fukttransport ved kapillærledning (væsketransport) og entalpiendringer ved faseoverganger (kondensering ↔ fordampning) utelates fra beregningene. Dette kan være aktuelt ved vurdering av disse mekanismenes betydning i forhold til resultater.

De numeriske parameterne "Økt nøyaktighet" og "Konvergensforbedring" er innstillinger som kan benyttes for å redusere eventuelle numeriske problemer. Dette kan være et høyt antall konvergensfeil eller dårlig massebalanse (se kap.3.10). Begge innstillinger bidrar til økte nøyaktighetskrav i beregningene, men resulterer i lengre beregningstid. Dersom man benytter en PC med stor regnekraft kan det være fordelaktig å velge disse standardinnstillingene uavhengig av resultater, siden de fleste beregninger allikevel er utført i løpet av få minutter.



Figur 15 Numeriske innstillinger.

3.8 Klimabetingelser ute og inne

Ut fra de spesifiserte startbetingelsene beregner WUFI utviklingen over tid av temperatur- og fuktfordelingen i den beskrevne komponenten. Denne utviklingen bestemmes ut fra de underliggende transportligningene, som styrer prosessene inne i komponenten, og av varme- og fuktutvekslingen med omgivelsene. Varme- og fuktstrøm gjennom overflatene bestemmes av forholdene i komponenten og av forholdene i omgivelsene. Forholdene i omgivelsene beskrives av *randvilkårene* i form av klimadata. For hvert tidssteg i beregningen trenger WUFI data om klimaforholdene ved overflatene. En endimensjonal bygningskomponent har en *venstre overflate* og en *høyre overflate*.



Figur 16 Tilordning av randvilkår

Hver av disse overflatene må tilordnes sine tilhørende randvilkår, figur 16. Disse randvilkårene kan gis som timevise data som leses fra en klimafil (brukt som uteklima) eller som inneforhold utledet fra en klimafil (brukt som inneklima) eller som skjematisk sinuskurver over året (brukt som ute- eller inneklima). Ute- og/eller inneklima kan fritt tilordnes til venstre eller høyre side av komponenten (man kan for eksempel ha uteklima på begge sider eller inneklima på begge sider). Den eneste *begrensningen* er at klimafilene som inneholder regn og solstråling må tilordnes til *venstre side*.

Merknad: Denne ombyttbarheten gjelder kun for WUFI Pro. I WUFI light kan venstre side bare ha klimafil og høyre side bare sinuskurve.

WUFI trenger følgende klimadata for hvert tidssteg i beregningen:

- *Regnpåkjenningen*, i [liter/m²h], som faller loddrett inn mot utvendig overflate. For fastlegging av denne må overflatens helning og orientering tas hensyn til.
- *Solstrålingen*, i [W/m²], som faller loddrett inn mot utvendig overflate. For fastlegging av denne må overflatens helning og orientering tas hensyn til.
- *Lufttemperaturen*, i [°C], på utvendig side.
- *Relativ luftfuktighet* [0 -- 1] på utvendig side.
- *Lufttemperaturen*, i [°C], på innvendig side.
- *Relativ luftfuktighet* [0 -- 1] på innvendig side.
- *Barometertrykket*, i [hPa]. Siden barometertrykket har minimal innvirkning på beregningen kan det være tilstrekkelig å gi en middelvei for beregningsperioden.
- *Langbølget atmosfærisk motstråling*, i [W/m²], dersom man i beregningen skal ta hensyn til strålingsavkjøling om natta.

Klimafilene kan inneholde målte værddata eller syntetiske, men realistiske, værddata eller helt kunstig genererte data (som for eksempel beskriver et laboratorieforsøk). Ettersom WUFIs hovedanvendelse er for analyse av hygrotermiske forhold i bygningskomponenter som eksponeres for naturlige klimapåkjenninger, er programmet tilpasset for lesing av observerte klimadata. WUFI beregner automatisk retningsbestemte påkjenninger, som regn- og strålingsinnfall, med utgangspunkt i vanlige meteorologiske observasjoner. I denne versjonen av WUFI kan klimafilene med formatformene *.TRY eller *.WET eller *.DAT eller *.WAC eller *.IWC eller *.KLI håndteres (se Hjelp-funksjonen i WUFI for nærmere detaljer om disse filformatene).

3.8.1 Tilordning av uteklime

Utvendig klima kan velges for forskjellige steder i Europa, Nord-Amerika og Japan. Ønsket geografisk plassering kan velges direkte fra kart. For Norge finnes uteklimadata fra 12 forskjellige steder. Disse klimadata leses fra klimafilene med et såkalt "*TRY-format* (Test Reference Year). Filene med norske klimadata er basert på målinger av Meteorologisk Institutt og observasjonene er gjort 3 ganger i løpet av døgnet. Omregning til timesobservasjoner er utført ved lineær interpolasjon.

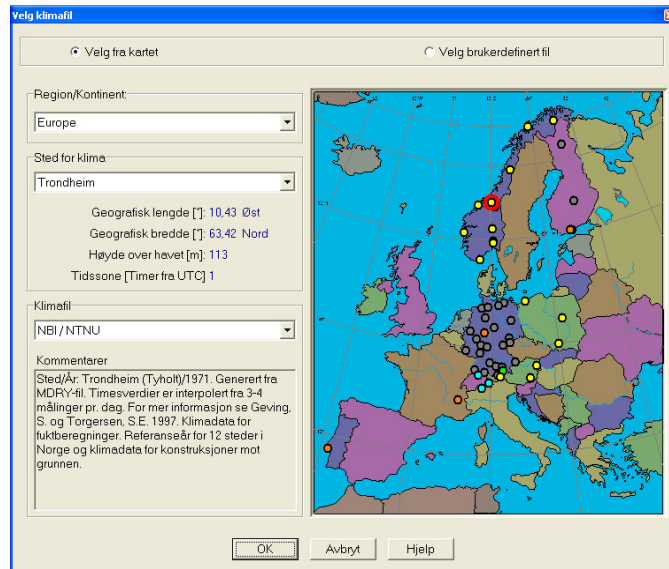
TRY-filene er generert ut fra såkalte MDRY-filer (Moisture Design Reference Year), som skal representere en kritisk fuktbelastning med en returperiode på 10 år. Siden kritisk fuktbelastning varierer i forhold til konstruksjonstype, er det benyttet flere ulike konstruksjoner som vurderingsgrunnlag ved valg av referanseår. Dette betyr at beregningsperioder på flere år vil gi en noe større fuktpåkjennning på konstruksjonen enn et normalår.

TRY-filene inkluderer parameterne:

- Skydekkefaktor (0...1) [-]
- Vindretning [Grad]
- Vindhastighet, skalar middelvei [m/s]
- Vindhastighet, vektorell middelvei [m/s]
- Kode for værobservasjon [kodeverdi]
- Nedbør siste time [mm]
- Lufttrykk [hPa]
- Temperatur [°C]
- Relativ fuktighet (0...1) [-]
- Direkte solstråling, timesgjennomsnitt [W/m²]
- Diffus stråling, timesgjennomsnitt [W/m²]
- Lys, timesgjennomsnitt [Lux]
- Langbølget stråling timesgjennomsnitt [W/m²]
- Atmosfærisk motstråling, timesgjennomsnitt [W/m²]

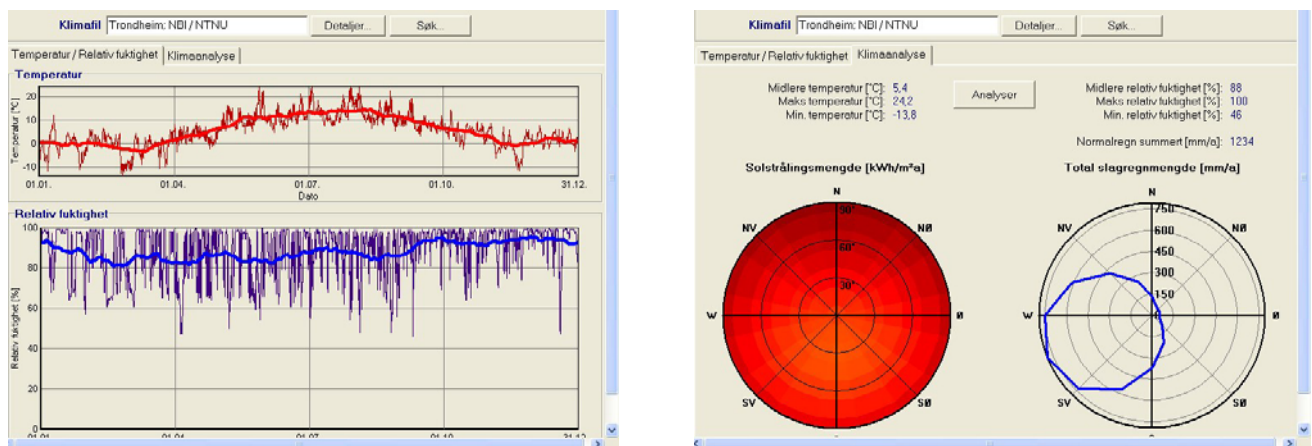
Tidsstrukturen på TRY-filene er delt opp i timer i løpet av et referanseår. Dersom beregningsperioden settes utover dette, gjentas innlesningen av klimafilen automatisk. Det er også mulig å benytte brukerdefinerte uteklimafilene.

Figur 17 viser et skjermbilde av de ulike stedene i Europa som det foreligger klimadata for, som kan velges fra kartet. Skjermbildet kommer opp ved å trykke "Kart/fil" og "Søk".



Figur17 Kartoversikt over steder med klimadata i databasen.

Etter valg av sted for uteklimadata presenteres forløpene av temperatur og relativ fuktighet (tynne linjer viser data fra klimafilen, tykke linjer viser bevegelig, sentrert månedsmiddelerverdi), samt sammenstilte verdier for solstråling og slagregn i skjermbildet (velg "Klimaanalyse"), se figur 18.



Figur 18 Presentasjon av valgte uteklimadata

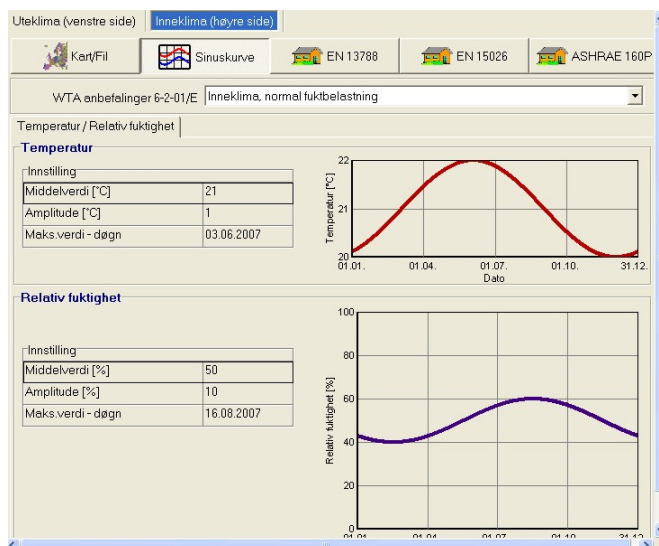
3.8.2 Tilordning av inneklimate

Innvendige klimabetingelser kan angis på fire forskjellige, alternative måter: som en gitt eller brukerdefinert sinusvariasjon over året, med utgangspunkt i NS-EN 13788 [1], med utgangspunkt i NS-EN 15026 [2] eller med utgangspunkt i ASHRAE Standard 160P [3].

Velges en **sinusvariasjon** kan man velge mellom 4 forhåndsdefinerte forløp eller eventuelt et brukerdefinert forløp. Valgene "lav", "normal" eller "høy" fuktbelastning gir innetemperaturevariasjon innenfor [20 - 22°C] og variasjon av RF innenfor henholdsvis

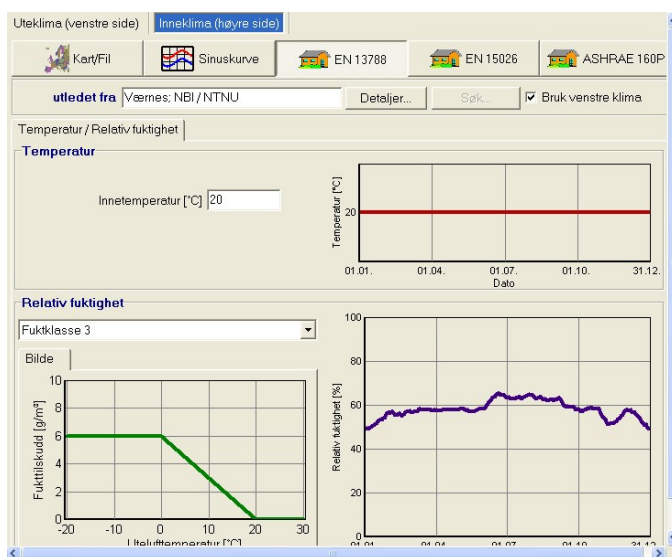
[30 – 60%], [40– 60%] og [50– 60%]. Velges forløpet "Utendørsforhold" varieres innetemperatur og RF i området [0 - 18°C] og [72 – 88%].

Velges brukerdefinert sinusforløp (bare i WUFI Pro) kan middelvei, amplitude og tidspunkt (dato) for maks. verdi kan redigeres, slik at innvendige klimaforhold i løpet av året blir tilpasset aktuelt tilfelle. Eventuelt kan man velge konstante verdier over året. Figur 19 viser et skjermbilde av innvendig klima som sinusforløp med normal fuktbelastning.



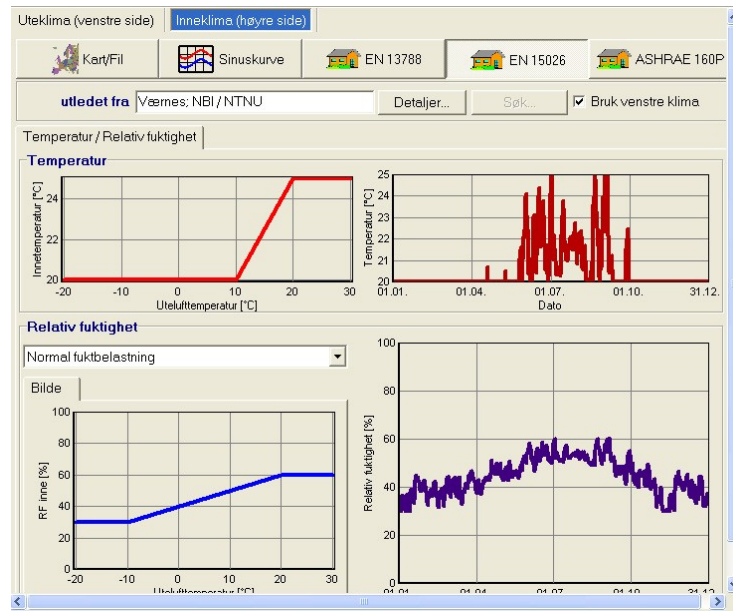
Figur 19 Innvendige klimabetingelser som sinuskurver.

Med inneklima i henhold til **NS-EN 13788** (bare i WUFI Pro) benyttes en konstant, brukerdefinert innetemperatur. Innluftas fuktinnhold settes lik uteluftas fuktinnhold med tillegg av et innvendig fukttilskudd [g/m^3] som avhenger av utelufttemperaturen. Ved beregningen benyttes sentrert, bevegelig månedsmiddelvei for uteluftparametrene. I fuktclassene 1, 2, 3 og 4 settes fukttilskuddet ved utetemperaturer ≤ 0 °C til en konstant verdi lik henholdsvis 2, 4, 6 og 8 g/m^3 . I temperaturområdet 0 – 20 °C varieres fukttilskuddet lineært fra verdien ved 0 °C til 0 g/m^3 ved 20 °C. I figur 20 er vist skjermbildet med valgt fuktklasse 3. Ved brukerdefinering beskrives fukttilskuddet ved rette linjestykker mellom sammenhørende verdier av utetemperatur og fukttilskudd i tabell.



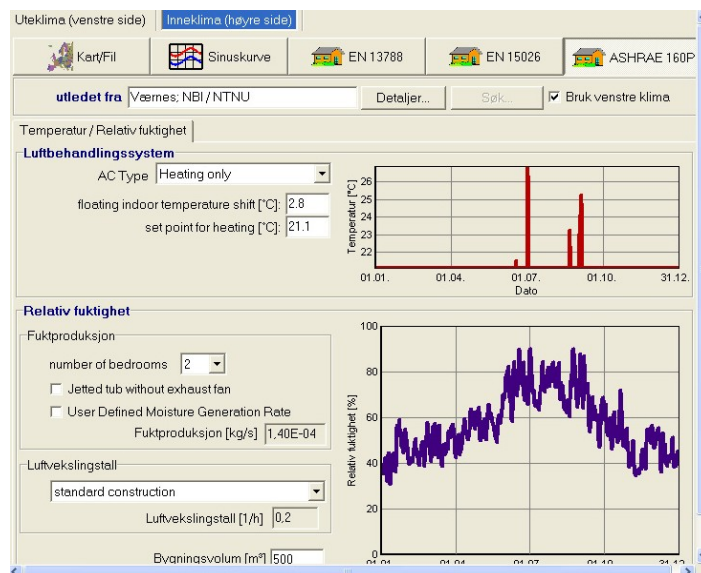
Figur 20 Inneklimabetingelser i henhold til NS-EN 13788

Ved bruk av inneklimatebetingelser i henhold til **NS-EN 15026** (bare i WUFI Pro) blir innendørs temperatur og relativ luftfuktighet fastsatt med utgangspunkt i sentrert, bevegelig døgnmiddelverdi for utelufttemperaturen til en hver tid, som vist i skjermbildet, se figur 21. Man kan velge mellom to forhåndsdefinerte fuktbelastninger. Denne metoden er bare egnet for normale bruksbetingelser i boliger og kontorer.



Figur 21 Inneklimabetingelser i henhold til prEN 15025

Ved bruk av inneklimatebetingelser i henhold til **ASHRAE 160P** (bare i WUFI Pro), se figur 22, blir inneklimaet avledet av det definerte uteklimate ved hjelp av en algoritme som er gitt i ASHRAE Standard 160P (Flowchart 3. Indoor design humidity, intermediate method) [3].



Figur 22 Inneklimabetingelser i henhold til ASHRAE 160P

3.9 Resultater

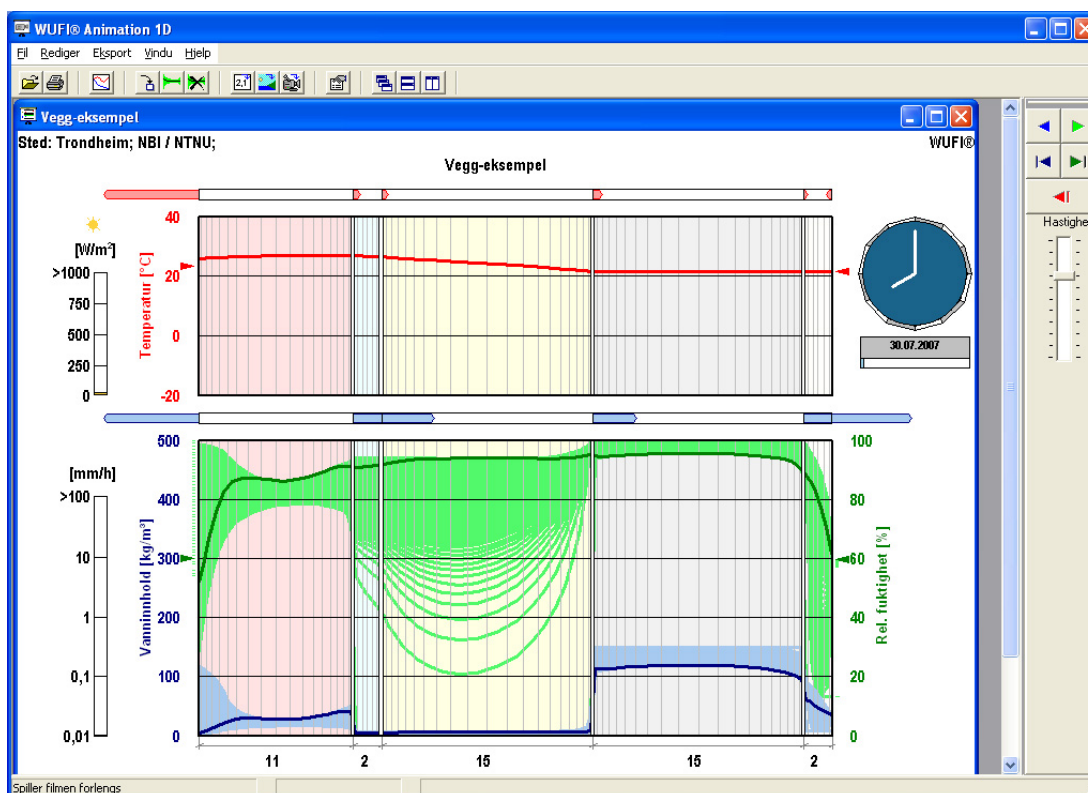
Beregningsresultater kan framstilles på ulike måter i WUFI 1D:

- Filmframvisning
- Diagrammer
- Eksport av rådata

Ved å trykke på knappen "Inn-data ved siste beregning" får man opp en rapport, beregnet for utskrift, med oversikt over prosjektdata, konstruksjonsoppbygging, randvilkår, kilder/sluk og resultater fra siste beregning

3.9.1 Filmframvisning

Filmframvisning gir en god oversikt over hvordan de hygrotermiske forholdene i konstruksjonen varierer i løpet av beregningsperioden. Denne kan kjøres samtidig eller etter at beregningen er gjennomført. Figur 23 viser et skjermbilde fra filmframvisning et stykke ut i beregningsperioden. Her vises fordeling av temperatur, relativ fuktighet og vanninnhold gjennom konstruksjonen, samt varme- og fuktfluks gjennom alle sjiktgrensene, for hvert tidstrinn i beregningen. Visningen angir også maksimale utslag for hver enkelt parameter for tidligere tidstrinn.

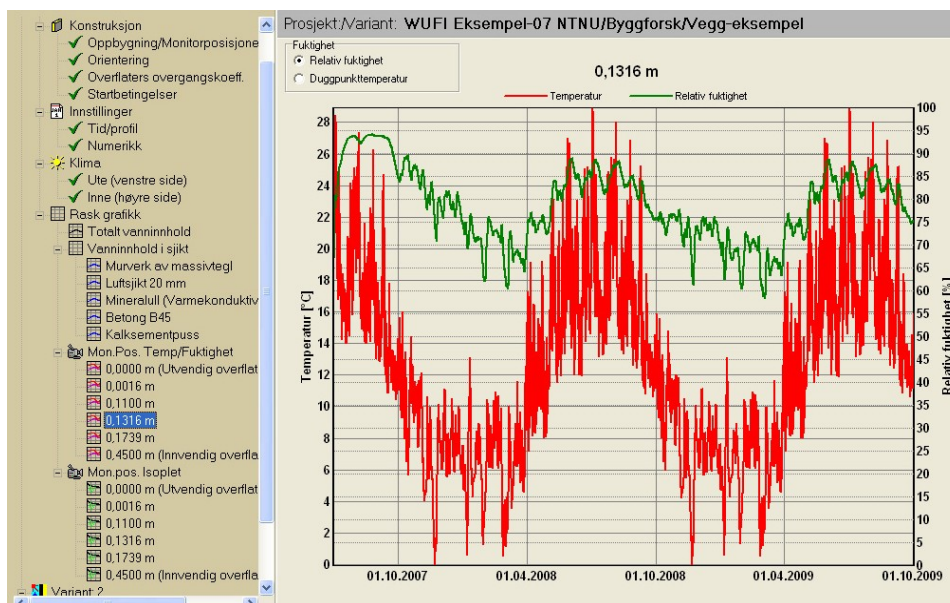


Figur 23. Filmframvisning av resultater.

3.9.2 Resultatgrafer

Etter fullført beregning kommer det opp en mulighet til å betrakte en del nøkkeldata fra beregningen i prosjektmenyen til venstre på skjermen i form av såkalt "rask grafikk". Eksempel på dette er vist i figur 24.

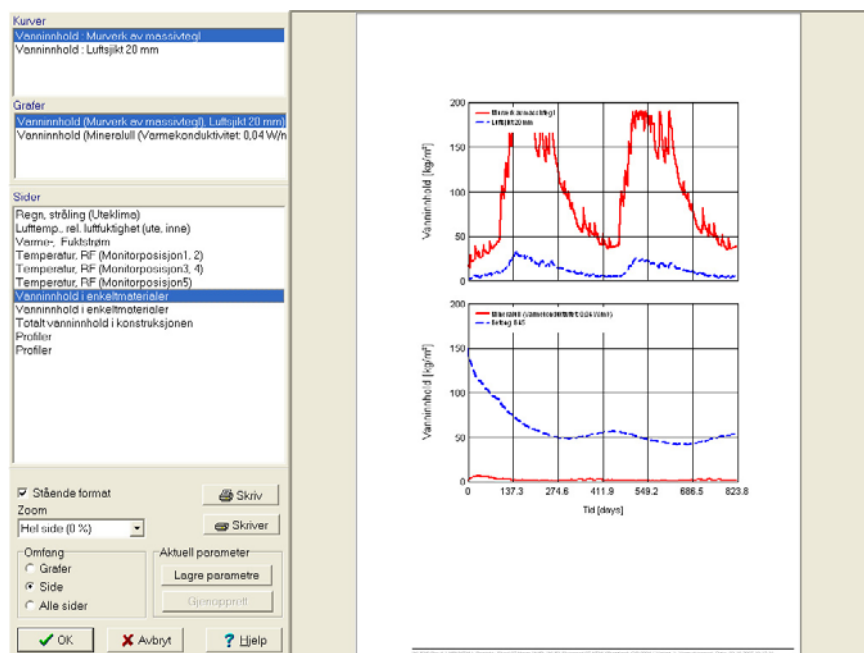
For presentasjon av resultatene i for eksempel en rapport kan det være nyttig å bruke funksjonen "Resultatgrafer" under menylinjen "Ut-data". Her kan følgende data framstilles i diagrammer:



Figur 24 Skjerm bilde med eksempel på "rask grafikk"

- Klimadata
- Varmestrømmer gjennom overflater
- Temperatur/RF i monitorposisjoner
- Totalt fuktinnhold
- Fuktinnhold i enkeltmaterialer
- Temperatur/RF i profiler i konstruksjonen ved angitte tidspunkt

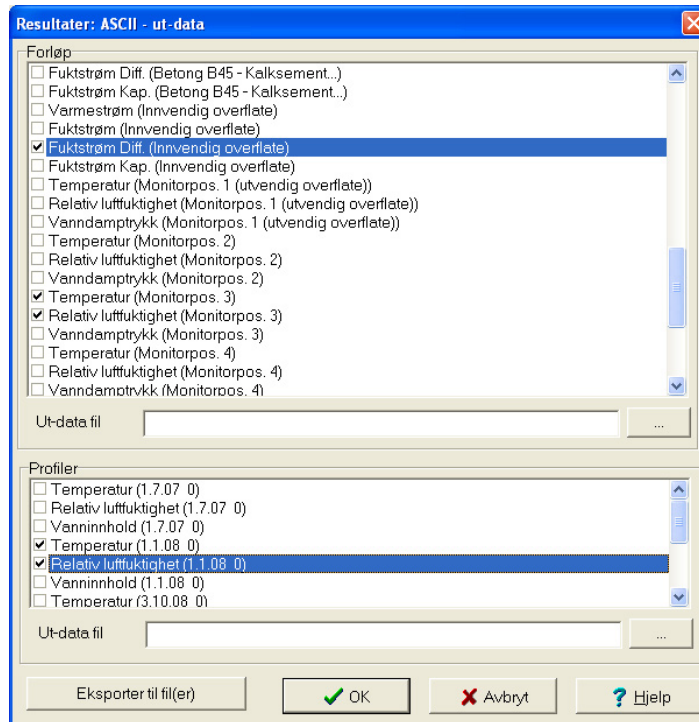
Figur 25 viser et skjermbilde av fuktinnhold i enkeltmaterialer i løpet av beregningsperioden. De ulike diagrammene kan skrives direkte ut, med muligheter for endring av oppsett og layout.



Figur 25 Resultatgrafer i diagrammer.

3.9.3 Eksport av data

Dersom man ønsker å framstille resultatene på andre måter enn det "Resultatgrafer" gir mulighet for, kan ulike data eksporteres til fil med ASCII-format. Filene kan deretter importeres i Microsoft Excel eller Matlab. Dette kan være nyttig når man for eksempel ønsker å plotte verdier for temperatur og RF i en eller flere monitorposisjoner. Figur 26 viser et skjermbilde for eksportering av data for ulike forløp og profiler i resultatene.

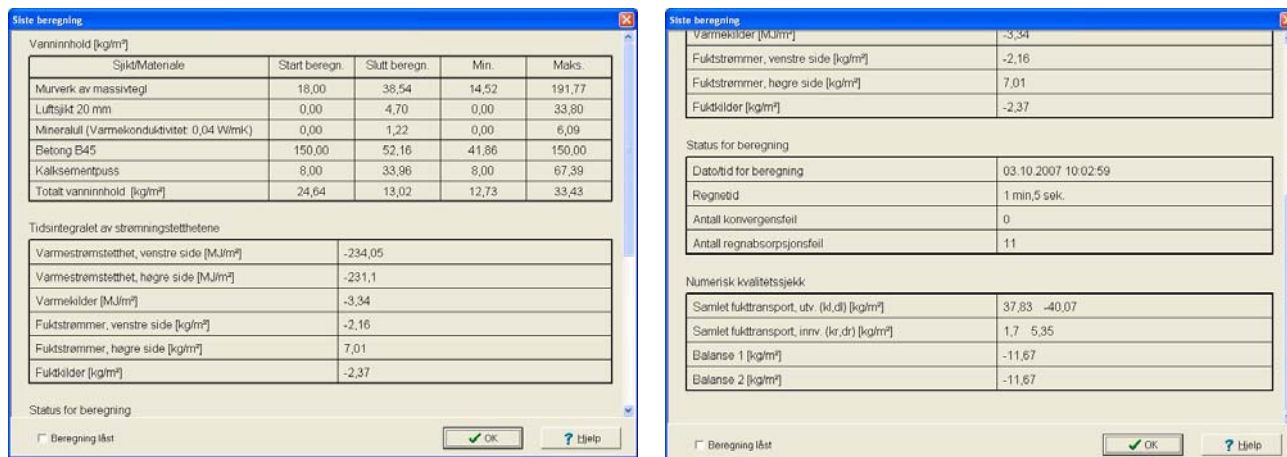


Figur 26 Eksport av data til ASCII-format.

3.10 Kvalitetssikring av resultater

For at resultatene skal kunne benyttes som et vurderingsgrunnlag for bygningskomponenters fuktmotstand bør det gjennomføres en kvalitetssikring av beregningene. De to viktigste faktorene er å kontrollere antall konvergensfeil og massebalansen i "Status ved siste beregning" (under "Ut-data" på menylinjen), se figur 27. Massebalansen vurderes ved å betrakte verdiene "Balanse 1" og "Balanse 2", som ideelt sett skal være helt like. På grunn av konvergensfeil og avrunding kan disse verdiene avvike noe fra hverandre. Ved betydelige avvik bør dette vurderes opp mot antall konvergensfeil og rutenettinndeling.

Av ulike årsaker kan konvergeringen ved beregning være langsom, slik at maksimalt antall iterasjoner overstiges, uten at sluttkriteriet i beregningskrittet oppfylles. Dersom dette skjer, vil det bli notert 1 konvergensfeil for det aktuelle tidstrinnet. Nøyaktighetskriteriet i beregningsmodellen er høyt, slik at et moderat antall konvergensfeil vil ha liten innvirkning på påliteligheten til resultatene. Dersom antallet overstiger ca. 50 per år (med tidstrinn på en time) bør inngangsdata revurderes. Vanlige årsaker kan være tynne materialsjikt ved store temperaturgradienter, som skaper en uheldig rutenettinndeling. I slike tilfeller bør tynne materialsjikt på overflater byttes ut med en fast dampmotstand for aktuell overflate. Eventuelt kan rutenettet redigeres slik at elementene mot overflater i kritiske sjikt forminskes.



Figur 27 Status ved siste beregning (øvre og nedre del av skjermbildet)

4 Bakgrunn

4.1 Beregningsmodell

I beregningsmodellen til WUFI inkluderes ulike faktorer for både fukt- og varmetransport. På grunn av nødvendige forenklinger er imidlertid enkelte mekanismer utelatt.

Faktorer for varmetransport i WUFI 1D

- Varmeledning
- Entalpiendringer ved faseoverganger i fukt
- Kortbølget stråling
- Langbølget stråling (Kun med TRY klimadata)
- Varmetransport ved konveksjon er utelatt, på grunn av kompleksiteten i forhold til kvantifisering, og er sjelden endimensjonal.

Faktorer for vandamptransport i WUFI 1D

- Dampdiffusjon
- Løsningsdiffusjon
- Vandamptransport ved konveksjon er også utelatt, av samme årsak som for varmetransport.

Faktorer for væsketransport i WUFI 1D

- Kapillærledning
- Overflatekryping
- Transport ved gravitasjon, hydraulisk strøm over trykkforskjeller, elektrokinetiske og osmotiske effekter er ikke inkludert i modellen.

5 Referanser

1. NS-EN ISO 13788 Bygningskomponenters og bygningsdelers hygrotermiske egenskaper - Innvendig overflatetemperatur for å unngå kritisk overflatefuktighet og kondensasjon i bygningskomponenter eller bygningsdeler - Beregningsmetode (ISO 13788:2001)
2. NS-EN 15026:2007 Bygningskomponenters og bygningsdelers hygrotermiske egenskaper – Bedømmelse av fukttransport ved numerisk simulering
3. ASHRAE Standard 160P, "Design Criteria for Moisture Control in Buildings", (Draft July 2006)

Vedlegg 1: Fastlegging av kildestyrke for en ventilasjonskilde

Styrken på en varme- eller fuktkilde bestemmes direkte av brukeren, eller den avledes direkte fra klimapåkjenningene som en brukerdefinert andel av solstråling eller slagregn. Med en ventilasjonskilde spesifiserer imidlertid brukeren bare antall luftvekslinger per time og ut fra dette, samt enkelte grensebetingelser, bestemmer WUFI hva ventilasjonskilden medfører av styrke som varmekilde og fuktkilde. Dette gjøres på følgende måte:

Fastlegging av varmekilde på grunn av luftveksling:

$$Q_t = \rho_{out} \cdot \frac{ACH}{3600} \cdot d_{cavity} \cdot C_{p,Air} \cdot (T_{out} - T_{cavity})$$

Q_t : varmekildens styrke [W/m^2]

ρ_{out} : densitet for uteluften [kg/m^3]

ACH: luftvekslingstall for spalten [$1/h$]

d_{cavity} : spaltens tykkelse [m]

$C_{p,Air}$: spesifikk varmekapasitet for tørr luft ved konstant trykk [$J/kg K$] (fuktinnhold neglisjeres)

T_{out} : utendørs lufttemperatur [K]

T_{cavity} : temperatur i spalten [K] (middelverdi for alle involverte nettelementer)

Fastlegging av fuktkilde på grunn av luftveksling:

$$Q_m = \frac{ACH}{3600} \cdot d_{cavity} \cdot (c_{out} - c_{cavity})$$

Q_m : fuktkildens styrke [kg/m^2s]

c_{out} : vanndampkonsentrasjon i uteluften [kg/m^3]

c_{cavity} : vanndampkonsentrasjon i luften i spalten [kg/m^3] (middelverdi for alle involverte nettelementer)

Vanndampkonsentrasjonene blir fastlagt ut fra temperaturer og relative fuktigheter for uteluft hhv. spalteluft.

Vedlegg 2

Langbølget strålingsutveksling

(oversatt fra WUFIs Hjelpside nr 38)

Innledning

Temperaturen på utvendige overflater bestemmes av varmestrøm som skyldes varmeledning i bygningsdelen, konvektiv varmeutveksling med omgivende luft og, ikke minst, av **strålingsutvekslingen** med omgivelsene.

Kortbølget stråling (med bølgelengder rundt 0.5 – 1 μm) kommer fra sola, kan i intensitet nå helt opp til om lag 1000 W/m^2 og har stor variasjon over døgnet og er ikke til stede om natta. Bygningsdelene absorberer kortbølget stråling, men stråler ikke ut slik stråling selv.

Langbølget stråling (med bølgelengder rundt 10 μm) emitteres som varmestråling fra objekter (som yttervegger, tak, terrenget osv.) på jordoverflaten, kan nå opp i intensiteter på flere hundre W/m^2 (avhengig av temperaturen på den emitterende overflaten) og er alltid til stede. Bygningsdelene absorberer langbølget stråling som emitteres fra andre objekter, men stråler også ut slik stråling selv, og er på denne måten i stadig strålingsutveksling med sine omgivelser. Den langbølgete delen av solstrålingen er helt neglisjerbar, sammenlignet med langbølget stråling emittert fra terrestriske kilder, siden solskiven er en kilde med mye mindre romvinkelutstrekning.

Siden terrestriske objekter som deltar i strålingsutvekslingen gjerne har omtrent den samme temperaturen, er den langbølgete strålingsutvekslingen omtrent i balanse. Og til tross for de betydelige energimengdene som stråler fram og tilbake, er **netto strålingstransport** relativt liten. Ligningen som beskriver den langbølgete strålingsutvekslingen, inneholder de involverte absolutt-temperaturene i fjerde potens, men på grunn av de relativt små temperaturforskjellene kan den lineariseres med temmelig godt resultat. Netto energistrøm er da proporsjonal med temperaturforskjellen mellom de involverte objektene:

$$E = \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot T_{\text{surroundings}}^4 - \epsilon_2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{surface}}^4 \approx a_{\text{rad}} \cdot \Delta T$$

Vi får således samme form som for konvektiv varmestrøm mellom overflate og omgivende luft:

$$q = a_{\text{conv}} \cdot (T_{\text{air}} - T_{\text{surface}})$$

Om vi antar at objekter i omgivelsene har tilnærmet samme temperatur som lufta og at alle objekter har omtrent samme emissivitet, kan de to ligningene kombineres til en ligning som beskriver den totale varmestrømmen på grunn av både stråling og konveksjon (se også om [varmeovergangstill](#)):

$$q = (a_{\text{conv}} + a_{\text{rad}}) \cdot (T_{\text{air}} - T_{\text{surface}}) = a \cdot \Delta T$$

I bygningsfysikken brukes gjerne denne tilnærmede ligningen ved beregning av varmeutveksling. Man trenger altså ikke nødvendigvis å regne eksplisitt på langbølget strålingsbalanse. Også i WUFI beregnes vanligvis varmeutvekslingen med omgivelsene på denne måten.

Avkjøling ved stråling om natta

Selv om overflatetemperaturen på en bygningsdel er omtrent den samme som på de terrestriske omgivelsene, får den allikevel et langbølget **strålingstap**. Dette skyldes at den ikke bare utveksler stråling med de terrestriske omgivelsene, men også med himmelen, altså i strålingsutveksling med atmosfæren. Bestanddelene i atmosfæren er imidlertid dårlige utstrålere: de toatomige molekylene N_2 og O_2 emitterer nesten ingen utstråling i det hele tatt og bare de små mengdene av såkalte "drivhusgasser" (vanndamp, CO_2 , O_3 etc.) emitterer langbølget stråling. Dette skyldes molekylstrukturen.

Drivhusgassene er meget effektive utstrålere, men til forskjell fra faste stoffer og væsker som emitterer et kontinuerlig strålingspektrum ("Planck-spektrum"), emitterer gasser bare linjespektra, med store **mellomrom** mellom hver bølgelengde. Sammenlignet med et fast stoff med samme temperatur er derfor strålingen fra atmosfæren mindre, på grunn av disse mellomrommene.

Mens en bygningsdels overflate stråler ut **langbølget strålingsenergi** jevnt over hele halvrommet, er det bare strålingen som overflaten mottar fra romvinkelen som utgjøres av terrestriske objekter (såkalt **terrestrisk motstråling**) som har sammenlignbar intensitet. Den langbølgede strålingen som overflaten mottar fra romvinkelen som utgjøres av himmelen (såkalt **atmosfærisk motstråling**) har vanligvis lavere intensitet enn strålingen fra overflaten mot himmelen – selv om de har samme

temperatur. Dette er årsaken til at en bygningsdels overflate emitterer mer stråling enn den mottar fra omgivelsene sett under ett. Dette gir et kontinuerlig varmetap fra overflaten.

Om dagen merker vi ikke dette varmetapet på grunn av varmegevinsten fra innfallende solstråling. Om natta derimot, kompenseres ikke dette tapet, som da fører til at overflaten ofte **avkjøles til lavere temperatur enn lufttemperaturen** ("overkjøling"). Dette kan føre til rim eller duggutfelling og risiko for vekst av alger og mugg.

Skyer består av vanndråper eller iskrystaller som emitterer et fullstendig Planck-spektrum. Hvis det er skyer på himmelen, kan dette kompensere helt eller delvis for atmosfærens strålingsubalanse. Derfor avhenger intensiteten av den atmosfæriske motstrålingen sterkt av **skydekktet** til en hver tid, i tillegg til temperatur og vandampinnhold. På tempererte breddegrader er typiske verdier for motstrålingen som emitteres fra skyfri himmel i området mellom ca. 180 W/m² (kald, tørr luft) og ca. 400 W/m² (varm, fuktig luft). Med en fullstendig overskyet himmel oppfører himmelen seg som en Planck-stråler med temperatur lik luftas duggpunktstemperatur.

Omfanget av strålingstapene (og derved av overkjølingen) avhenger også av overflatens **helning**. Horisontale overflater (for eksempel flate tak) står i strålingsutveksling bare med himmelen, og får derved sterk avkjøling. Vertikale overflater (for eksempel fasader) får strålingstap bare for en del av sitt synsfelt, mens det øvrige synsfeltet er i rimelig balanse.

Overflater med **liten termisk treghet** (for eksempel puss på utvendig etterisolering) avkjøles sterkere om natta enn overflater med større varmekapasitet (for eksempel overflater på massive vegger).

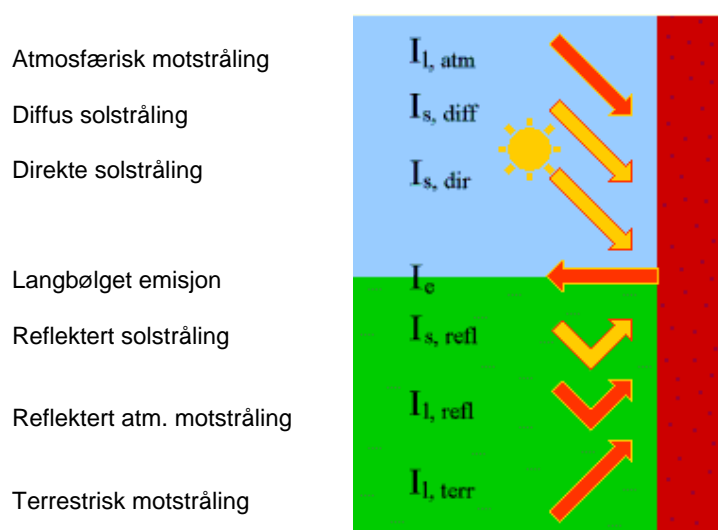
Strålingens komponenter

I perioder med overkjøling går de radiative og konvektive varmestrømmene i motsatte retninger: strålingsenergi tapes fra overflaten mot himmelen, mens den konvektive varmestrømmen går fra (den varmere) lufta omkring til (den kjøligere) overflaten. Denne situasjonen kan ikke behandles med det forenklede uttrykket (se ovenfor):

$$q = (a_{conv} + a_{rad}) \cdot (T_{air} - T_{surface}) = a \cdot \Delta T$$

fordi dette uttrykket forutsetter at begge energistrømmene går i samme retning. Hvis man skal modellere overkjøling i en simulering må følgelig strålingsdelen fjernes fra varmeovergangstallet og langbølget strålingsutveksling må beregnes separat fra konvektiv varmeutveksling. Det vil da være gunstig å kombinere kort- og langbølget strålingsutveksling i en enkelt, sammenfattende strålingsbalanse.

Hvis brukeren gir WUFI beskjed om å benytte en slik fullstendig strålingsbalanse, vil denne ta hensyn til de følgende **kort- og langbølgete strålingskomponentene** (jfr. [2]):



direkte solstråling:

andelen av solstråling som faller inn på bygningsdelens overflate direkte fra sola. WUFI bruker solas posisjon og overflatens orientering og helning for å beregne denne med utgangspunkt i direkte solstråling på horisontal flate, som kan leses direkte fra klimafilen eller kan beregnes ut fra global og diffus solstråling.

diffus solstråling:

andelen av solstrålingen som spres i atmosfæren og av skyer, og som faller inn fra alle retninger. Denne verdien må multipliseres med himmelens vinkelfaktor (se under). Resultatet blir lik komponenten av diffus solstråling som faller inn på bygningsdelens overflate.

reflektert solstråling:

den kortbølgete strålingen som treffer bygningsdelens overflate etter å ha blitt reflektert av terrenget eller andre terrestriske objekter. Denne verdien beregnes ut fra summen av direkte og diffus solstråling, og terrengets kortbølgete refleksjonsgrad.

Den må deretter multipliseres med vinkelfaktoren for de terrestriske omgivelsene (se under). Resultatet blir lik komponenten av reflektert solstråling som faller inn på bygningsdelens overflate.

atmosfærisk motstråling:

den langbølgete strålingen som emitteres fra himmelen (atmosfæren + skyer).

Avhengig av typen klimafil som brukes, kan den leses direkte fra filen, eller den kan estimeres fra andre klimadata og skydekket ved hjelp av en empirisk motstrålingsmodell. Noen filtyper inneholder timeverdier for skydekket. Hvis ikke dette er tilfelle, kan brukeren spesifisere en fast verdi for skydekket (dette svekker kvaliteten på motstrålingsestimatene).

Disse motstrålingsverdiene må multipliseres med himmelens vinkelfaktor (se under). Resultatet blir lik komponenten av atmosfærisk motstråling som faller inn på bygningsdelens overflate.

reflektert atmosfærisk motstråling:

den atmosfæriske motstrålingen som faller inn på bygningsdelens overflate etter å ha blitt reflektert av terrenget eller andre terrestriske objekter. Denne verdien beregnes ut fra atmosfærisk motstråling og terrengets langbølgete refleksjonsgrad.

Denne må deretter multipliseres med vinkelfaktoren for de terrestriske omgivelsene (se under). Resultatet blir lik komponenten av reflektert motstråling som faller inn på bygningsdelens overflate.

terrestrisk motstråling:

den langbølgete strålingen som emitteres av de terrestriske omgivelsene.

Avhengig av typen klimafil som brukes, kan den leses direkte fra filen, eller den kan estimeres fra utelufttemperaturen og emissiviteten for de terrestriske omgivelsene (f. eks. terrenget), ved hjelp av Stefan-Boltzmanns lov (med antakelsen at effektiv temperatur på objektene i de terrestriske omgivelsene er lik utelufttemperaturen).

Disse motstrålingsverdiene må multipliseres med vinkelfaktoren (se under) for de terrestriske omgivelsene. Resultatet blir lik komponenten av terrestrisk motstråling som faller inn på bygningsdelens overflate.

langbølget emisjon:

den langbølgete termiske strålingen som emitteres fra bygningsdelen utvendige overflate. Denne avhenger bare av temperaturen og overflatens langbølgete emissivitet.

Forenklet WUFI-metode (anbefales for de fleste anvendelser):

Transportligningene som anvendes i tidligere WUFI-versjoner (og av WUFI 4.1 i standard forenklet beregningsmodus) tilbyr to mekanismer for tilføring eller fjerning av varme: varmeutveksling med omgivende luft (gjennom utvendig og innvendig overflate), og en varmekilde eller –sluk i utvendig overflate. (En tredje mekanisme, varme frigjort ved virkningen av latent varme ser vi bort fra i denne sammenheng.)

I den forenklete beregningsmodus tas det hensyn til langbølget strålingsutveksling ved at man benytter et [varmeovergangstall](#) som inneholder et visst bidrag fra langbølget stråling, som beskrevet ovenfor. Konvektiv varmestrøm og langbølget strålingsutveksling behandles derved samlet som varmeutveksling med lufta omkring.

Den kortbølgete (sol-) strålingen, derimot, behandles som en varmekilde i bygningsdelens overflate, hvor kildestyrken er gitt den innfallende solstrålingen mot overflaten, multiplisert med kortbølget absorpsjonstall for utvendig overflate.

Dersom den spesifiserte klimafilen har et annet format enn ***.TRY** eller ***.DAT**, vil WUFI ikke skille mellom dag og natt. Om natta er da varmekilden (på grunn av stråling) lik null siden det ikke er noen solstråling. Derved kan ingen overkjøling inntreffe.

Hvis man derimot benytter en klimafil med test referanseår format (***.TRY** eller ***.DAT**), vil WUFI i det minste forsøke å ta hensyn til overkjøling på en forenklet måte. Til dette brukes følgende forenklete metode:

- Gjennom dagen tar WUFI bare indirekte hensyn til langbølget strålingsutveksling ved at et varmeovergangstall som inkluderer et langbølget strålingsbidrag benyttes. Den kortbølgete (sol-) strålingen behandles som en (positiv) varmekilde. For å skille mellom dag og natt ser WUFI på den diffuse solstrålingen: hvis slik stråling er til stede er det "dag":
- Hvis den diffuse solstrålingen er lik null, skifter WUFI til "natt"-modus: før neste tidstrinn beregnes estimerer programmet netto nattverdi for termisk emisjon fra bygningsdelens overflate (helningsvinkelen er β) ved hjelp av uttrykket:

$$\text{nettoemisjon} = \left(5.67 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{air}}^4 - \text{atm.motstråling} \right) \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

Siden temperaturen på den emitterende overflaten ikke er kjent før det neste tidstrinnet er beregnet, erstattes denne med utelufttemperaturen, som er gitt i klimafilen (dette kan være en noenlunde akseptabel tilnærming under nattforhold, men på dagtid blir dette gjerne svært feil). Videre antas det at strålingsutvekslingen med den terrestriske delen av "synsfeltet" til bygningsdelens er eksakt i balanse. Cosinusfaktoren beskriver himmelens andel av synsfeltet.

Dette netto strålingstapet gis et negativt fortegn og behandles deretter som en varmekilde (egentlig et varmesluk) i overflaten. Ut fra fortegnet avgjør WUFIs beregningskjerne om strålingsintensiteten den mottar er solstråling (positivt fortegn) eller langbølget emisjon (negativt fortegn). Solstråling multipliseres med **kortbølget strålingsabsorpsjonstall** for overflaten; langbølget emisjon multipliseres med **langbølget emissivitet** for overflaten.

Siden langbølget strålingsutveksling om natten blir tatt hensyn til eksplisitt (om enn på en meget tilnærmet måte), burde det langbølgete strålingsbidraget i varmeovergangstallet vært fjernet. I den nåværende implementasjonen er dette imidlertid ikke gjort.

Konklusjon: Hvis WUFI arbeider i forenklet strålingsutvekslingsmodus (som er standardmodus) og hvis klimafilene er i ***.TRY** eller ***.DAT** format, så kan programmet gi grove resultater for overkjøling om natten. Man kan imidlertid ikke forvente kvantitativt korrekte resultater.

Merknad til brukeren:

Hvis WUFI arbeider i forenklet strålingsutvekslingsmodus (standard) og klimadata leses fra en ***.TRY** eller ***.DAT** fil, vil programmet automatisk bestemme netto emisjon om natten med formelen ovenfor og behandle resultatet som et varmetap.

Hvis du konverterer egne klimadata til et av disse formatene, men ikke har data for atmosfærisk motstråling, må du **ikke bare fylle angjeldende kolonner med nuller**. Dette vil resultere i at termisk emisjon fra bygningsdelen ikke kompenseres av motstråling og resulterende overkjøling vil bli alt for sterk. I stedet kan du:

- bruke empiriske formler (f. eks. [1]) til å estimere motstrålingen fra andre klimakomponenter, hvis du har data om skydekket, eller
- fylle inn i kolonnen for motstråling med forventet termisk emisjon (overflatetemperaturen settes lik lufttemperaturen, se emisjonsformelen ovenfor), slik at emittert og absorbert termisk stråling utligner hverandre i beregningen. Med disse klimadata får du ingen overkjøling i det hele tatt, men du får heller ikke en feil overkjøling. eller du kan
- fylle inn i kolonnen for motstråling med null-verdier, men da *må* du også sette **langbølget emissivitet** for bygningsdelens overflate lik null, slik at langbølget strålingsutveksling helt undertrykkes. I dette tilfellet får man selvsagt heller ingen overkjøling.

Nytt: eksplisitt full strålingsbalanse (for avanserte brukere):

I WUFI 4.1 har vi introdusert en modus for full strålingsbalanse. I prinsipp gir dette mulighet for kvantitativ beregning av overkjøling om natten. Du kan aktivere denne modus i dialogbildet "Overflaters overgangskoeff." ved å trykke knappen "Detaljer" og deretter hake av for "Slå på" i rammen "Eksplisitt strålingsbalanse".

Merknad: Graden av overkjøling er avhengig av netto langbølget emisjon. Denne verdien er lik forskjellen mellom to relativt store tall: overflatens emisjon og total motstråling. Usikkerhet i verdiene for terrestrisk eller atmosfærisk motstråling (pga forhold ved målinger, unøyaktigheter i formler for beregning av disse etc.) kan derfor gi betydelige forstyrrelser i resultatene. Foreløpig har vi relativt begrenset erfaring med fastlegging av aktuell sensitivitet her. På nåværende tidspunkt bør derfor denne beregningsmodus betraktes som eksperimentell. Brukere som ikke ønsker å studere detaljer på dette feltet, kan med fordel benytte den forenklete modus i stedet (se ovenfor). Denne er fullt tilstrekkelig for de fleste formål.

I denne modus blir langbølgete strålingskomponenter bestemt eksplisitt, både om dagen og om natten. De kombineres med kortbølgete strålingskomponenter til en felles varmekilde i overflaten, som kan ha positiv eller negativ kildestyrke avhengig av den totale strålingsbalansen.

Det utvendige varmeovergangstallet må da kun inneholde den konvektive delen. Du kan selv trekke fra den langbølgete delen eller overlate til WUFI å gjøre dette (WUFI vil da trekke fra 6,5 W/m²K). I dialogbildet "Overflaters overgangskoeff." angir du for WUFI om overgangsmotstandsverdien du gir inn inkluderer langbølget strålingsbidrag eller ikke.

WUFI beregner balansen av alle strålingskomponentene på følgende måte:

$$I = \alpha \cdot I_s + \varepsilon \cdot I_l - I_e$$

I [W/m ²]	netto stråling ved bygningsdelens overflate
α [-]	kortbølget strålingsabsorpsjonstall for overflaten
I_s [W/m ²]	kortbølget solstråling
ε [-]	langbølget strålingsemissivitet og strålingsabsorpsjonstall for overflaten
I_l [W/m ²]	langbølget motstråling
I_e [W/m ²]	langbølget emisjon fra overflaten

En positiv verdi for I resulterer i en oppvarming av overflaten, mens en negativ I -verdi gir avkjøling. For strålingskomponentene I_s og I_l har vi

$$I_s = I_{s,dir} + g_{atm} \cdot I_{s,diff} + g_{terr} \cdot I_{s,refl}$$

$I_{s,dir}$ [W/m ²]	direkte solstråling inn mot bygningsdelens overflate
g_{atm} [-]	atmosfærens vinkelfaktor
$I_{s,diff}$ [W/m ²]	diffus solstråling
g_{terr} [-]	terrestrisk vinkelfaktor
$I_{s,refl}$ [W/m ²]	solstråling reflektert fra terrenget

$$I_l = g_{atm} \cdot I_{l,atm} + g_{terr} \cdot (I_{l,terr} + I_{l,refl})$$

$I_{l,atm}$ [W/m ²]	atmosfærisk motstråling
$I_{l,terr}$ [W/m ²]	terrestrisk motstråling
$I_{l,refl}$ [W/m ²]	atmosfærisk motstråling reflektert fra terrenget

De to vinkelfaktorene beregnes som

$$g_{atm} = \cos^2\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

$$g_{terr} = 1 - g_{atm}$$

β [°] bygningsdelens helning (90° for en vertikal vegg)

Ligningene for I_s og I_l inneholder hver tre strålingskomponenter. Vanligvis er ikke alle disse tre gitt i klimafilene. Men hvis for eksempel bare $I_{s,diff}$ og $I_{l,atm}$ er i klimafilene og den direkte strålingen på et horisontalplan $I_{s,dir,h}$ er tilgjengelig, så kan de ukjente strålingskomponentene beregnes på følgende måte:

$$I_{s,refl} = \rho_{s,terr} \cdot (I_{s,dir,h} + I_{s,diff})$$

$\rho_{s,terr}$ [-] kortbølget refleksjonsgrad for terrenget

$$I_{l,terr} = \varepsilon_{l,terr} \cdot \sigma \cdot T_{terr}^4$$

σ [W/(m²K⁴)] Stefan-Boltzmanns konstant

$\varepsilon_{l,terr}$ [-] langbølget emissivitet for terrenget

T_{terr} [K] terrengets temperatur

$$I_{l,refl} = \rho_{l,terr} \cdot I_{l,atm}$$

$\rho_{l,terr}$ [-] langbølget refleksjonsgrad for terrenget

Man kan anta at terrengets temperatur om natten er tilnærmet lik utetemperatur. Den direkte strålingen $I_{s,dir}$ kan også bestemmes ut fra når solas posisjon $I_{s,dir,h}$ er blitt beregnet.

Alle strålingskomponentene som er omtalt hittil, er vanligvis eksplisitt kjent før simuleringen, eller WUFI kan bestemme dem ved bruk av formlene gitt ovenfor. De avhenger ikke av de foreløpig ukjente resultatene av simuleringen. Det eneste unntaket er langbølget emisjon som avhenger av temperaturen på bygningsdelens overflate via Stefan-Boltzmanns lov:

$$I_e = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{Sur}^4$$

T_{Sur} [K] temperaturen på bygningsdelens overflate

Denne ikkelineære relasjonen må lineariseres for å kunne brukes i lineære ligningssystemer slik som de som løses av WUFI. For dette formålet er den uttrykt i en lineær Taylor-rekke. Utviklingspunktet er den (kjente) overflatetemperaturen som ble beregnet i forrige tidssteg:

$$I_{e,lin} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_0^4 + 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_0^3 \cdot (T - T_0)$$

$I_{e,lin}$ [W/m²] linearisert emisjon

T_0 [K] temperaturen på overflaten før iterasjonssteget (kjent)

T [K] temperaturen på overflate etter iterasjonssteget (skal finnes ved løsning)

Alle disse beregningene utføres av WUFI hvis det er haket av for "Slå på" i "Eksplisitt strålingsbalanse". For dette formålet trenger imidlertid WUFI noen tilleggsparametere som du kan gi inn i dialogbildet "Overflaters overgangskoeff.":

Kortbølget strålingsabsorpsjonstall [-]	0.4	Brukerdefinert
Langbølget strålingsemissivitet [-]	0.95	Detaljer <<
Eksplisitt strålingsbalanse		
<input checked="" type="checkbox"/> Slå på		
Terreng, kortbølget refleksjonsgrad [-]	0.20	Obs: Den eksplisitte strålingsbalansen krever klimadata med tilstrekkelig nøyaktige strålingsdata fra omgivelsene. Uten dette kan resultatet bli urealistiske temperaturer på utvendige overflater. For mer informasjon vennligst se online hjelp.
Terreng, langbølget emissivitet [-]	0.90	
Terreng, langbølget refleksjonsgrad [-]	0.10	
Skydekkeindeks [-]	0.66	

Betydningen av refleksjonsgradene og emissivitetene er forklart i formlene ovenfor. Summen av terrengets langbølgete emissivitet og refleksjonsgrad skal være lik 1.

En konstant skydekkeindeks (dvs. andel av himmelen som er dekket av skyer) som gis inn her, blir brukt for et grovt overslag på atmosfærisk motstråling hvis ingen målte verdier er tilgjengelig og heller ikke de timevise skydekkedata som er nødvendige for å estimere motstrålingen med en modell (f.eks. alltid hvis en klimafil i WET-format brukes).

De følgende klimafilene som er inkludert i WUFI inneholder verken data om atmosfærisk motstråling eller data om skydekke. Hvis du likevel ønsker å benytte dem for beregninger med full strålingsbalanse, må du spesifisere en egnet konstant skyindeks:

- Espoo
- Kolobrzeg

- Warsaw
- Krakov
- Innsbruck
- Graz
- Vienna
- Lisbon
- Kassel
- Grenoble

Klimadata og bruker-input som er nødvendig for en vellykket eksplisitt strålingsbalanse er relativt kompleks. Du kan kontrollere resultatene i detalj ved å undersøke de enkelte strålingskomponentene. Du har tilgang til alle de komponentene som er beskrevet ovenfor via [ASCII eksport](#) eller i [resultatgrafer](#).

Litteratur:

[1] Blümel, K. et al.: Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland. BMFT-Forschungsbericht T 86-051.

[2] VDI 3789 Umweltmeteorologie, Blatt 2: Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen; Berechnung der kurz- und der langwelligen Strahlung. Entwurf, Dezember 1992

[3] Kehrer M., Schmidt Th.: Temperaturverhältnisse an Aussenoberflächen unter Strahlungseinflüssen. Proceedings BauSIM 2006, 9.-11. Okt. 2006, TU München