

# Projektrapport – Moisture Analysis

---

## Baggrund

I Bygningsreglementet BR10 afsnit 4.6 Fugt og holdbarhed, stk. 2 står der bl.a. "Bygninger skal sikres mod skadelig akkumulering af kondensfugt som følge af fugttransport fra indeluften".

Fugttransporten fra indeluften kan foregå ved diffusion, konvektion og kappilarsugning. Beregninger af fugttransporten ved konvektion kan udføres når arealet af åbninger i konstruktionen er kendt, hvilket praktisk gør det meget besværligt. Kappilarsugning optræder først når mætningspunktet er nået og vandampen er blevet til væskeform og er måske derfor mindre interessant at se på. Traditionelt tages derfor kun diffusion med i betragtning i beregninger, velvidende at dette ikke beskriver den fulde virkelighed.

Glasers diffusionsmodel er en steady-state beregningsmodel til beregning af dampdistribution og fugtophobning i en bygningskonstruktion. I korte træk går Glasers diffusionsmodel ud på at opdele en konstruktion i homogene lag hver svarende til et materialeg og for hvert lag angive værdier for lagtykkelse, varmeledningsevne (eller isolans) og dampperméabilitet (eller dampdiffusionsmodstand). Overfladerne indgår som homogene lag med overfladeisolanser som eneste parameter.

For at udføre en beregning efter Glasers model opstilles randbetingelser i form af temperatur og relativ fugtighed på hver side af konstruktionen og resultater efter en beregning vil være diskrete værdier i laggrænserne for temperatur og damptryk. Forløb af temperatur og damptryk gennem konstruktionen kan illustreres ved at forbinde rette linjer mellem de beregnede værdier i laggrænserne. Antagelsen om lineært forløb i et homogent lag vil være acceptabel når isolanserne ikke er forholdsvis store.

Damptrykket skal sammenholdes med mætningsdamptrykket som vil være det højeste damptryk der kan optræde ved en given temperatur før der afgives vanddamp til omgivelserne. Hvis beregningen viser at damptrykket i en laggrænse overstiger mætningsdamptrykket så vil det beregningsmæssige damptryk skulle korrigeres så det i denne laggrænse sættes lig med mætningsdamptrykket svarende til at der kommer et dugpunkt med fugtophobning til følge. I dugpunktet er damptrykket fast og kan betegnes som en randbetingelse og simplificeret beskrevet kan man forestille sig konstruktionen som opdelt i to dele, en fra konstruktionens ene side til dugpunktet og en fra dugpunktet og til konstruktionens modsatte side.

Den europæiske standard DS/EN ISO 13788 med dansk titel "Bygningskomponenter og –elementers hygrotermiske ydeevne – indvendig overfladetemperatur for at undgå kritisk overflade- og mellemrumskondens – Beregningsmetode" foreskriver en metode med udgangspunkt i Glasers diffusionsmodel med 12 sammenhængende beregninger med randbetingelser som månedsgennemsnit for hver af de 12 måneder af året. Hver beregning kan få en afhængighed af foregående måned hvis denne har et eller flere dugpunkter, idet damptrykket i dugpunkterne fastholdes på mætningsdamptrykket så længe der er ophobet fugt i laggrænsen.

DS/EN ISO 13788 beskriver en række forudsætninger, krav og anbefalinger til beregningsmodellen bl.a. fastlæggelse af en startmåned for beregningerne, angivelse af en fugtighedsklasse/fugtbelastningsklasse som alternativ til relativ fugtighed inde og underopdeling af materialelag med relativt høje isolanser i flere beregningsmæssige lag.

Til en fugtanalyse i henhold til DS/EN ISO 13788 hører også en beregning der skal sikre at den relative fugtighed på den indvendige overflade bliver på maksimalt 80%. Dette krav er sat for at minimere risikoen for skimmelvækst på overfladen. Fremgangsmåden i DS/EN ISO 13788 er for hver af de 12 måneder at beregne temperaturfaktorer på overfladen svarende til 80% relativ fugtighed og sammenholde disse med temperaturfaktorer svarende til den beregnede overfladetemperatur. Det skal bemærkes at anvisningen til Bygningsreglementet foreskriver at den relative fugtighed på den indvendige overflade maksimalt må være på 75% med mindre producent eller leverandør af materialet kan eftervise et kritisk fugtindhold med hensyn til skimmelvækst som medfører mindre restriktive krav til den relative fugtighed på overfladen.

Analysen efter DS/EN ISO 13788 er relevante til eftervisning af om løsninger er fugtmæssigt forsvarlige og analyserapporter kunne fungere som dokumentation herfor. Myndigheder vil stille sig tilfreds med en fugtmæssigt dokumentation der fuldt lever op til DS/EN ISO 13788 og til Bygningsreglementet.

Et beregningsprogram der lever op til dette er Rockwool Energy Design der udover et større modul til energiberegning har en fugtberegning som tilgodeser kravene i DS/EN ISO 13788. Konstruktionselementer vælges fra et omfattende materialebibliotek og ydre relative fugtigheder og temperaturer kan angives ved at vælge en lokation på et landkort og dermed trække på gennemsnitsdata udarbejdet i en rapport fra Dansk Meteorologisk Institut. Desuden angives indetemperatur og en fugtighedsklasse efter DS/EN ISO 13788. Anbefalingen om at underopdele materialelag med relativt høje isolanser er dog ikke fulgt.

Til enkeltberegninger kan man benytte et regneark udviklet af Steffen Vissing Andersen der som tabellata og grafer viser fordelinger af temperatur, damptryk og relativ fugtighed gennem en konstruktionsdel. En fuld analyse vil derfor være en beregning med worst-case input som oftest vil være data for januar og hvis denne viser en fugtophobning så en ny beregning med data svarende til gennemsnit for perioden med de koldeste 225 døgn. Denne beregning kan vise hvor stor en fugtmængde der ophobes i perioden på de 225 døgn samt et resultat fra en overslagsberegning af udtørringen de resterende 140 døgn.

Overslagsberegning er fra en rapport fra Olfert Andersen og uvidenskabelige sammenligninger i Fugt i Bygninger af Steffen Vissing Andersen har vist at det er en rimelig tilnærmelse.

Regnearket af Steffen Vissing Andersen har den fordel at det er relativt let at eksperimentere ved at justere på konstruktion og randbetingelser og få et hurtigt og målrettet output. De relativt store frihedsgrader der ligger i brugen af regnearket gør det velegnet indenfor undervisning hvor studerende lærer at forstå diffusionsmodellen. Samtidig har det svagheden at det er udviklet til at foretage én beregning og det derfor for en konstruktion hvori der optræder fugtophobning vil være relativt besværligt at skulle følge DS/EN ISO 13788 og sammenkoble 12 beregninger med månedsgennemsnit.

Store frihedsgrader i anvendelsen vil også være ønsket ved simulering af fugtdiffusion med autentiske data hvor det afhængig af dataopsamlingsfrekvensen kunne være formålstjenligt at udføre mere end 12

sammenhængende beregninger med kortere tidsintervaller end en måned, f.eks. en uge, en dag, en time eller endog kortere. Databehandlingen vil være markant anderledes, idet output kunne tænkes anvendt som led i udvikling og forskning. For at nævne blot få mulige forskningsområder kunne det være validitetsanalyse af Glasers model, materialeopførslers ved fugtpåvirkning og fejlkilder ved kun at medtage diffusion i beregningen.

Til forskning og udvikling vil behovet være at have et beregningsværktøj der kan foretage en række sammenhængende beregninger og præsentere output i et format der gør det let at foretage nøjere analyser. Alternativt til et grafisk brugerinterface kunne fokus være at genere filer der passende kan indgå i et andet værktøj til den forskningsmæssige analyse, f.eks. regneark, Matlab eller lignende.

## Formål, mål og succeskriterier

Formålet er at udvikle et system der tager udgangspunkt i Glasers diffusionsmodel og tilgodeser to typer af behov 1) fugtdokumentation iht. DS/EN ISO 13788 og anvisningen til Bygningsreglementet og 2) fugtanalyse ved sekvenser af beregninger med uddata i lettilgængeligt format til senere analyser.

Målet er dels at studerende på bygningskonstruktøruddannelsen får indsigt i fugtteorien, dels at bygningskonstruktører, ingeniører og andre indenfor byggebranchen kan benytte systemet til at udføre en analyse af en bygningskonstruktion for at dokumentere om denne er fugtmæssig acceptabel i forhold til gældende norm og dels at der er en basis for at kunne udføre beregninger som tænkes anvendt til en dybere fugtteknisk analyse.

Succeskriterier er dels at studerende på bygningskonstruktøruddannelsen i Horsens på 3. semester udfører beregninger som de kan forstå og beskrive, dels at systemet bliver anvendt af andre end studerende på 3. semester og dels at jeg selv anvender systemet som del af at analysere temperatur- og damptrykforløb gennem en konstruktion med autentiske måledata.

## Problemformulering

Fokus på projektet er at opnå et stærkt alternativ til eksisterende systemer der kan foretage diffusionsberegninger. Dette søges opnået ved at udvikle

- et dokumentationsværktøj der kan generere en analyserapport til dokumentation for overholdelse af regler og anvisninger i DS/EN ISO 13788 og anvisningen til Bygningsreglementet
- et undervisningsværktøj som kan illustrere fugtstrømningen gennem en konstruktionsdel
- et udviklerværktøj med formål at levere data til en dybere fugtteknisk analyse

Målgruppen for dokumentationsværktøjet vil være lægmand og semiekspert med ingen eller lidt viden om diffusionsmodellen og som har fokus på at dokumentere konstruktioners opfyldelse af gældende fugtmæssige regler. Målgruppen for undervisningsværktøjet vil være semiekspert og ekspert som

eksempelvis studerende på bygningskonstruktøruddannelsen. Målgruppen til udviklerværktøjet vil være ekspert som forskeren der udtrækker data fra diffusionsberegninger som led i en dybere analyse.

Spørgsmål der søges besvaret er følgende

- Hvordan udvikles et samlet system med dokumentationsværktøj, undervisningsværktøj og udviklerværktøj således at det er anvendeligt for lægmand uden kendskab til fugtteorien, semieksperten med kendskab til teorien og eksperten som ønsker større kontrol over data og beregninger?
- Hvordan kan diffusionsmodellen med regler og anvisninger synliggøres så der opnås forståelse for beregninger og dermed dybere indsigt i fugtforløb gennem en konstruktionsdel?

## Afgrænsning

Der afgrænses til ikke at medtage fugttransport ved konvektion og kappilarsugning. Bygningskonstruktioner til analyse vil kun blive vist i tabelform ved lagenes materialeparametre og ikke grafisk som et visuelt udtryk af konstruktionen. Der afgrænses desuden til kun at tilbyde et system med dansk og engelsk sprogvalg.

## Metode

Projektet vil indeholde analyse, design og implementering. Designdokumentation vil være ved UML-standarden og implementering vil være i Java.

Der opbygges et modellag bestående af klasser til at håndtere inddata, diffusionsanalyse og uddata i forskellige formater. Denne vil være basis til alle 3 anvendelser som beskrevet i problemformuleringen, nemlig som dokumentation, undervisning og udvikling. For at tilgodese udvikleren indsættes javadoc-kommentarer i kildekoderne til modelklasserne og dokumentation genereres i html-format.

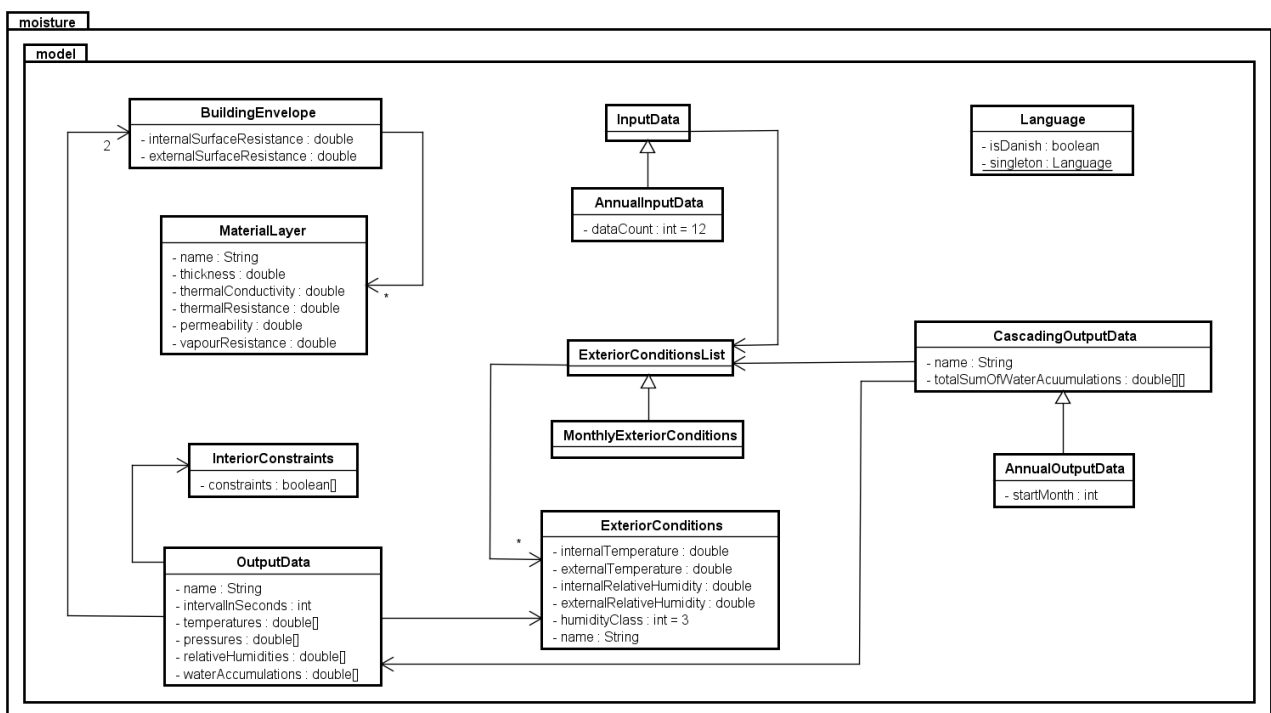
Der opbygges et præsentationslag som via en grafisk brugerflade gør anvendelsen brugerorienteret og uafhængig af forhåndsviden indenfor diffusionsanalyse og programmering. Præsentationslaget vil via modellaget kunne benyttes til analyser og præsentere resultater i et lettilgængeligt format ved grafer og tabelværdier på skærm og f.eks. i pdf-dokument.

Der opbygges et funktionslag bestående af klasser der simplificerer anvendelsen for udvikleren der ønsker mere kontrol over beregninger. Dette vil kunne gøres ved at lade udvikleren tilføje en eller flere klasser og anvende systemets modelklasser. For at tilgodese udvikleren som ønsker at foretage endnu flere ændringer vil kildekoden til alle modelklasser stilles til rådighed.

## Design

Et designvalg har været at programmet skulle være sproggenerisk således at brugerinterface kan skifte mellem engelsk og dansk ved et enkelt klik.

Der opbygges et system med ind- og uddata. Inddatasiden indeholder bygningskonstruktion med en liste af materialeglag, ydre betingelser i form af temperatur og relativ fugtighed på hver side af bygningskonstruktionen. og indre betingelser i form af



## Implementation

Applikationen er programmeret i Java med anvendelse af to anbefalelsesværdige eksterne programbiblioteker, JFreeChart (<http://www.jfree.org/jfreechart/>) til at præsentere grafer og iText (<http://www.itextpdf.com/>) til at generere pdf-filer.

JFreeChart er "open source" eller mere specifikt, [gratis software](#). Det bliver distribueret under betingelserne i [GNU Lesser General Public License \(LGPL\)](#), der tillader brug i lukkede applikationer. Programbiblioteket JFreeChart inkluderer iText.

Kildeteksten til JFreeChart og iText er tilgængelige i henhold til licensreglerne således at der bl.a. kan foretages ændringer sådan at *Moisture Analysis* benytter den opdaterede version.

## Kort beskrivelse

*Moisture Analysis* er en applikation til fugtanalyse af en bygningskonstruktion i henhold til DS/EN ISO 13788.

Inddata er materialedata for hvert lag i en bygningskonstruktion og 12 sæt af ydre betingelser i form af relativ fugtighed og temperatur på hver side af konstruktionen. For at følge DS/EN ISO 13788 skal hvert af de 12 ydre betingelser være gennemsnitsværdier for hver af årets 12 måneder. Defaultværdier er fra Ødum, Danmark som middelværdier fra 1961-1990 (<http://www.dmi.dk/tr99-5.pdf>). Som alternativ til at angive den indvendige relative fugtighed kan der indtastes en fugtighedsklasse som defineret i DS/EN ISO 13788.

Analysen består af 12 sammenhængende beregninger med en startmåned som defineret i DS/EN ISO 13788 og med beregningsmæssigt underopdelte materialeglag med relative store isolanser som f.eks. isoleringslag som anbefalingen i DS/EN ISO 13788.

Enhver laggrænse med en relativ fugtighed på 100% medfører et dugpunkt og dermed fugtakkumulering i laggrænsen. Beregningsmæssigt indsættes indre fikspunkter i disse laggrænser ved de efterfølgende beregninger så længe der er fugtophobning i laggrænsen. Et fikspunkt frigives når beregningen viser at den ophobede fugtmængde igen er udtørret.

Uddata er 1) et overblik over antal dugpunkter, antal måneder med fugtophobning og den relative fugtighed på den indvendige overflade for hver af de 12 måneder og 2) detaljer for hver af de 12 måneder i form af tabelværdier og grafer for temperatur, relativ fugtighed og vanddamptryk som et forløb gennem konstruktionen.

## Referencer

*Bygningsreglement 2010 og anvisning*, [http://www.ebst.dk/bygningsreglementet.dk/br10\\_00/0/42](http://www.ebst.dk/bygningsreglementet.dk/br10_00/0/42)

*DS/EN ISO 13788:2001 - Byggekomponenter og -elementers hygrotermiske ydeevne - Indvendig overfladetemperatur for at undgå kritisk overflade- og mellemrumskondens – Beregningsmetode*

*FugtAnalyse - Regneark til fugtdiffusionsberegning*, Steffen Vissing Andersen  
(<http://sva.ict-engineering.dk/Course/Fugt/Programmer/Fugtanalyse.xls>)

*Fugt i bygninger*, Steffen Vissing Andersen, VIA Systime 2009 (<http://via.systime.dk/fugt-i-bygninger.html>)

*Fugtkompendium*, Olfert Andersen, Byggeteknisk Højskoles Forlag Horsens

*Rockwool Energy Design*, <http://www.rockwool.dk/r%C3%A5d+og+vejledning/rockwool+energy+design>

*Technical Report 99-5, Observed Air Temperature, Humidity, Pressure, Cloud Cover and Weather in Denmark - with Climatological Standard Normals, 1961-90*, Ellen Vaarby Laursen, Rikke Sjølin Thomsen and John Cappelen, Danish Meteorological Institute 1999 (<http://www.dmi.dk/dmi/tr99-5.pdf>)

*SBi-224 Fugt i bygninger*, Erik Brandt m.fl., 2009

*JFreeChart*, <http://www.jfree.org/jfreechart/>, Programbibliotek i Java til graftegning

*iText*, <http://www.itextpdf.com/>, Programbibliotek i Java til generering af pdf- filer