Paradigmeskifte mod robuste bygningssimuleringer

v. Torben Østergård, ErhvervsPhD-studerende
MOE & Aalborg Universitet

Laver du "usikre" beregninger?!

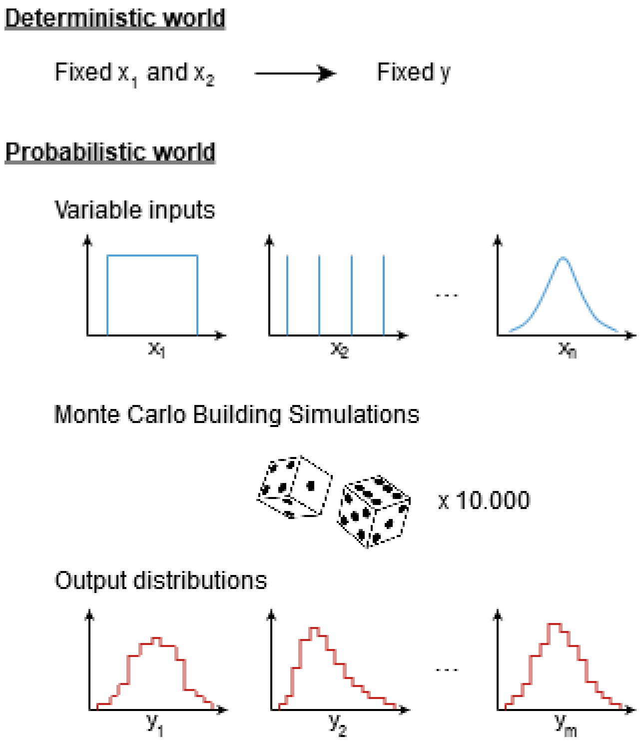
- JA! (sandsynligvis)

- Privat og generelt
  - Tilbagebetalingstid < yy år
  - Huskøb: maks. yy kr.
  - Osv.

- Bygninger
  - Energiforbrug = ~~yy kWh/år~~
  - Antal h overtemp. = ~~yy h > 26 °C~~
  - Dagslysfaktor = ~~2,2 %~~

Paradigmeskifte væk fra deterministiske beregninger

- Opgør med deterministiske beregninger!
- Medtag usikkerheder!
  - Muliggør bedre design
  - Mere robusthed
  - Reelle beregninger
  - Realistiske forventninger



Om mig

- 2004-07 Fysik, Aarhus Universitet (~Bachelor)
- 2007-13 MSc, Architectural Engineering, Aarhus Universitet
- 2011- Ingeniør hos MOE, Rådgivende Ingeniører
- 2014-17 ErhvervsPhD, Aalborg Universitet & MOE

- PhD'en: Mål at forbedre anvendelse af bygningssimuleringer i den kritiske tidlige designfase ved brug af probabilistisk modellering, usikkerheds- og følsomhedsanalyser og vidensbaserede databaser.

Usikkerheder…?

Fysiske egenskaber

- Imperfektioner, lækager, snavs, skyggende træer, …

Brugeradfærd

- Setpunkter for opvarmning/køling, brugstid, solafskærmning, naturlig ventilation, …

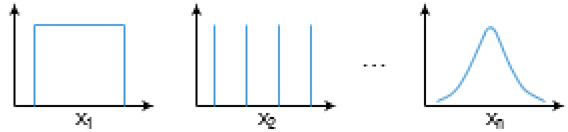
Vejret

- Aldrig ”standard” DRY år, sol, vindhastighed, …

Modelrealisme og software

- Månedsgennemsnit, timebasis, minutbasis
- Begrænsninger i muligheder, nøjagtighed af algoritmer, …
  - Randbetingelser og gridstørrelse i CFD
  - Skygger i Be10

Metode: overblik



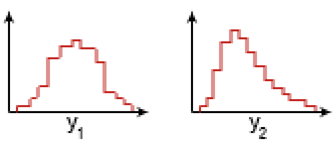
1. Grove skøn fra erfaringer
2. Litteratur
3. Bygherre: erfaringer & tidligere målinger
4. Foretage nye målinger
5. Erfaringsdatabase?

Angiv usikkerheder
- Fordelingsfunktioner

Foretag beregninger
- 1000+ simuleringer

Analysér
- Følsomhedsanalyse
- Usikkerhedsanalyse
- Visualiseringer

Inskrænk usikkerheder?



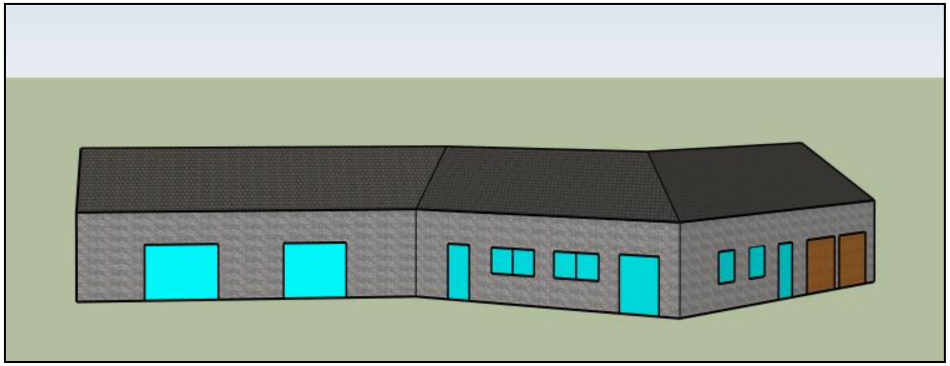
Opbyg model (Be10)

Opstil mål og krav
- Nybyggeri
- Renovering

Krav… hvor stor sikkerhed?
? Maks + 25%
? Middelværdi / Median

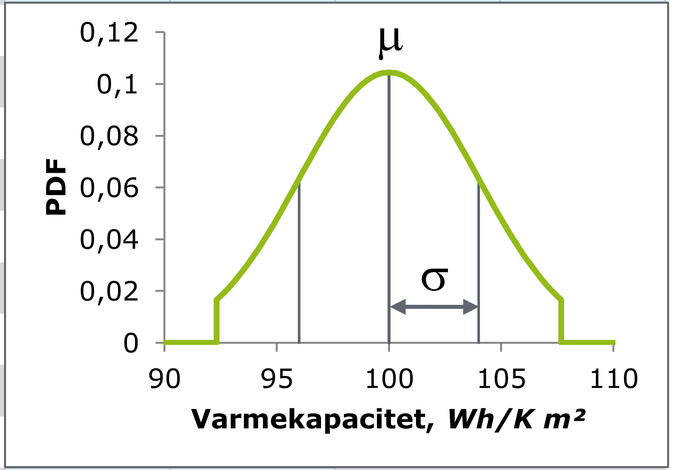
CASE: Ny bolig

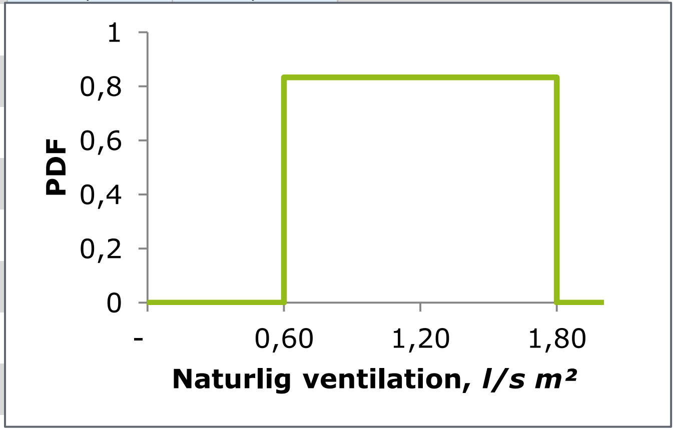
- Præcis geometri og leverandørspecifikationer
  - Eks. vindue:
    - 948 mm x 1188 mm
    - U = 1,17 W/m² K
    - g = 0,51
  - Eks. ventilation.
    - Varmegenvinding = 0,886
    - SEL = 0,922



CASE: Angiv fordelingsfunktioner

Parameter	Unit	Fordeling	μ	σ	Min	Maks
Varmekap.	*Wh/K m²*	Normal	100	4	92	108
Setpunkt, opv.	*C*	Normal				
Floor area	*m²*	Uniform				
U loft	*W/m² K*	Normal				
U terræn	*W/m² K*	Normal				
U væg	*W/m² K*	Normal				
Linjetab, fund.	*W/m K*	Uniform				
Linjetab, vin.	*W/m K*	Uniform				
g-værdi	-	Normal				
Vent qm,s	*l/s m²*	Uniform				
Nat. vent.	*l/s m²*	Uniform	0,6	1,8		
Infiltration	*l/s m²*	Uniform				
Vent. SEL	-	Normal				
Vent. vgv	-	Normal				
Personer	*W/m²*	Normal				
Udstyr	*W/m²*	Normal				
Cirk. Pumpe	*W*	Normal				
VBV	*l/ m²*	Normal				
VBV beholder	*W/K*	Normal				

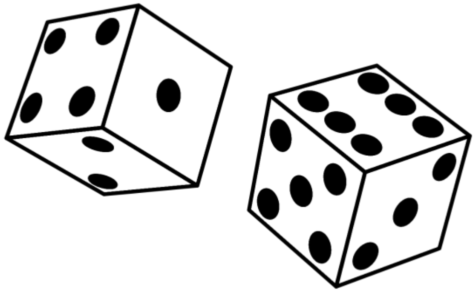




Sampling og simulering

1. Vælg prøvetagningsstrategi (sampling)
2. Foretag simuleringer

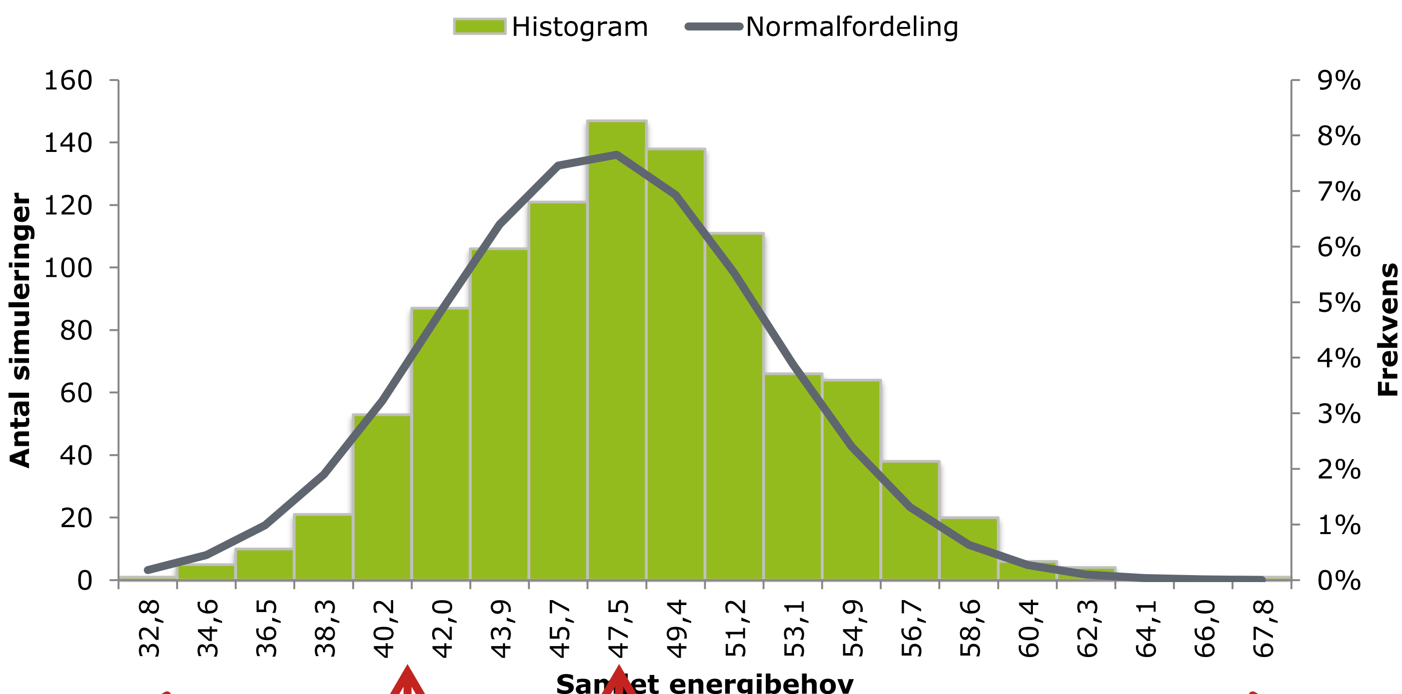
Med Be10… 1000 simuleringer ~ 2-3 minutter



x 1000

Resultater = sandsynlighedsfordelinger

- Usikkerhedsanalyse ift. brugeradfærd, materialer, m.m.
- Middel 47,0 $\pm$ 5,0 kWh/m^2

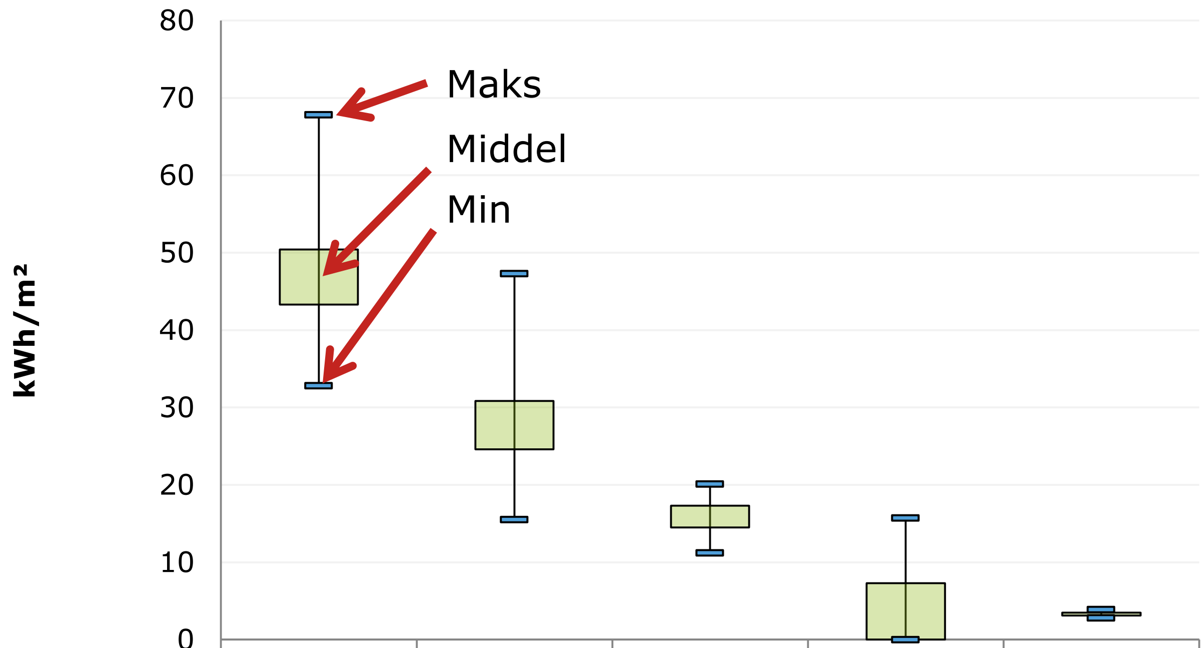


Usikkerhed (DRY vejrdata)

Reference
41,4 ved 2

Reference
47,5 ved 22 °C

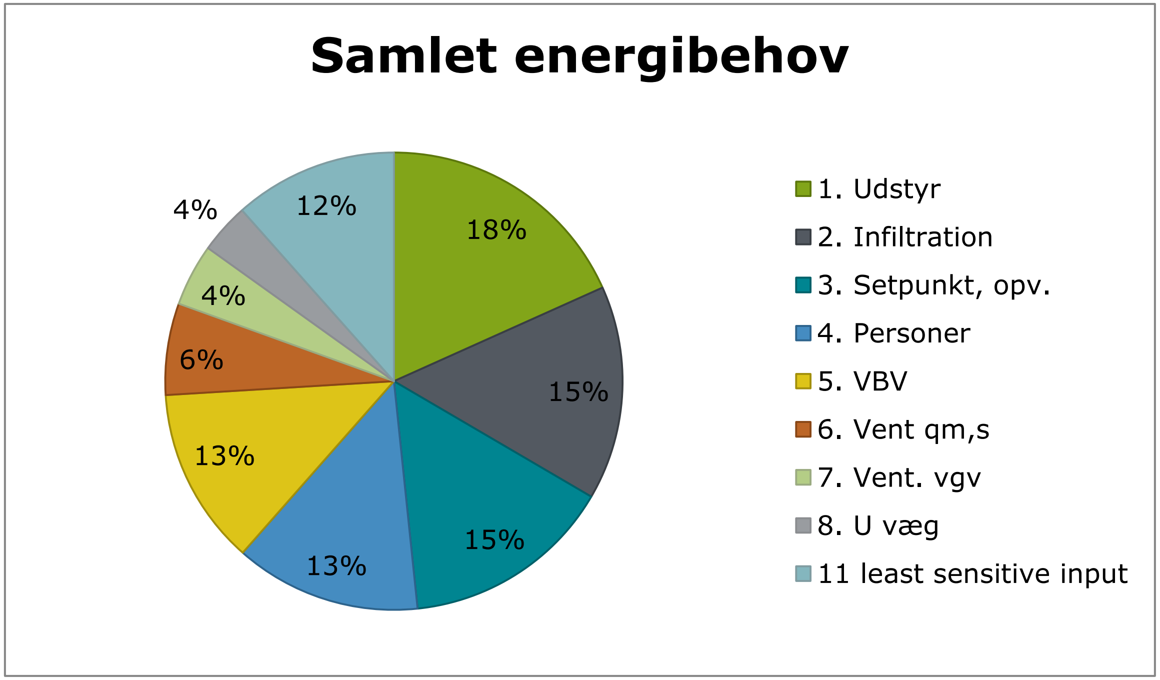
Spredninger for forskellige output



	Total	Rumopv.	VB	Overtemp.	El
Median	46,9	27,5	15,9	0	3,3
75% kvartil	50,4	30,825	17,3	7,3	3,5
Maks	67,8	47,3	20,1	15,7	3,9
Min	32,8	15,5	11,2	0	2,8
25% kvartil	43,3	24,6	14,5	0	3,1

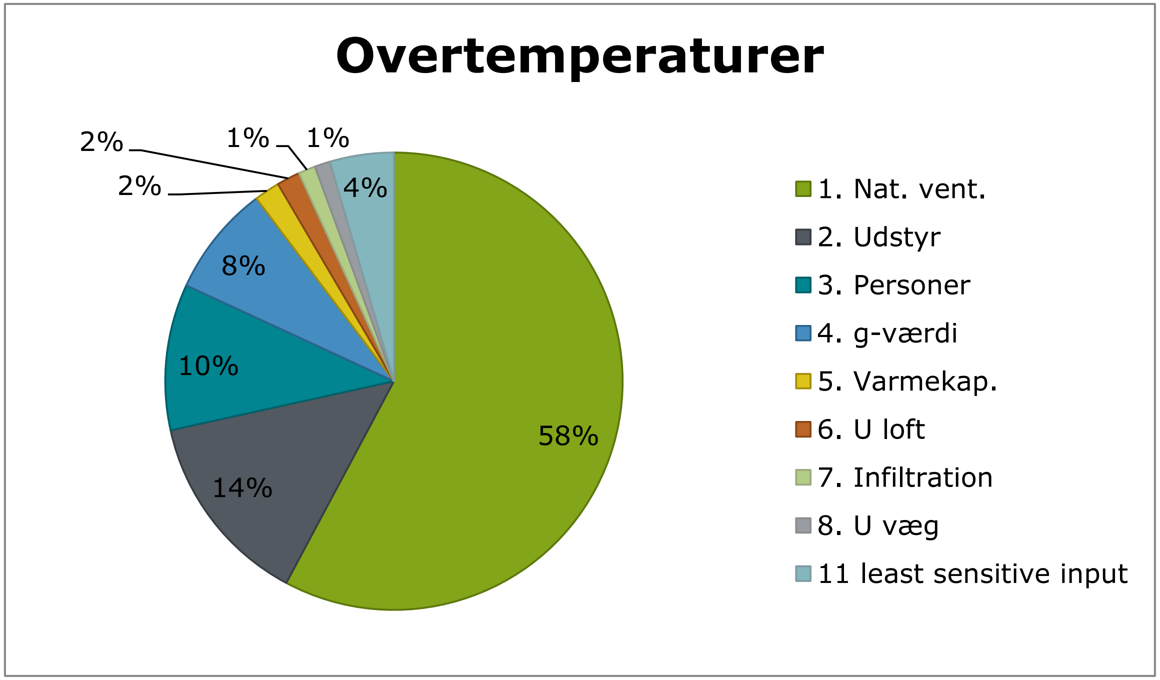
Global Følsomhedsanalyse

- Studiet af hvordan usikkerhed i en models output kan tilskrives forskellige usikkerheder i modellens inputs.
- …aka. ”hvad betyder mest?”



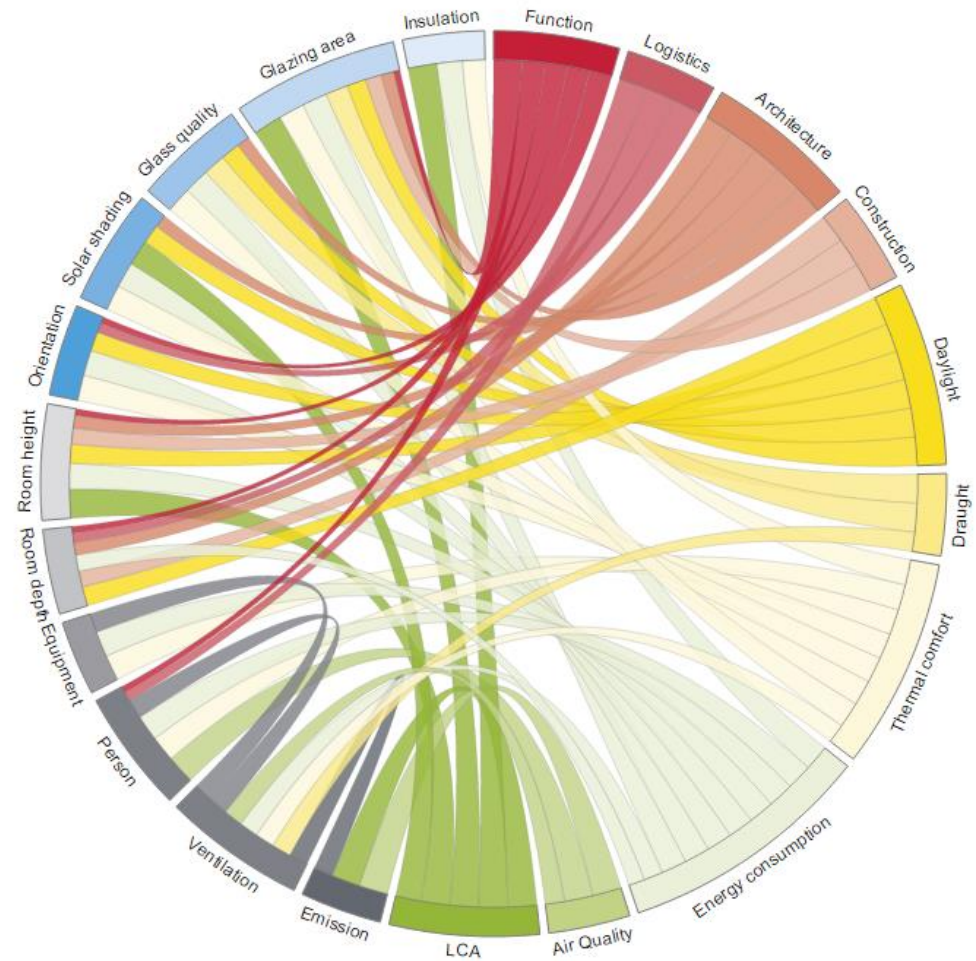
Global Følsomhedsanalyse

- Studiet af hvordan usikkerhed i en models output kan tilskrives forskellige usikkerheder i modellens inputs.
- Aka. ”hvad betyder mest?”



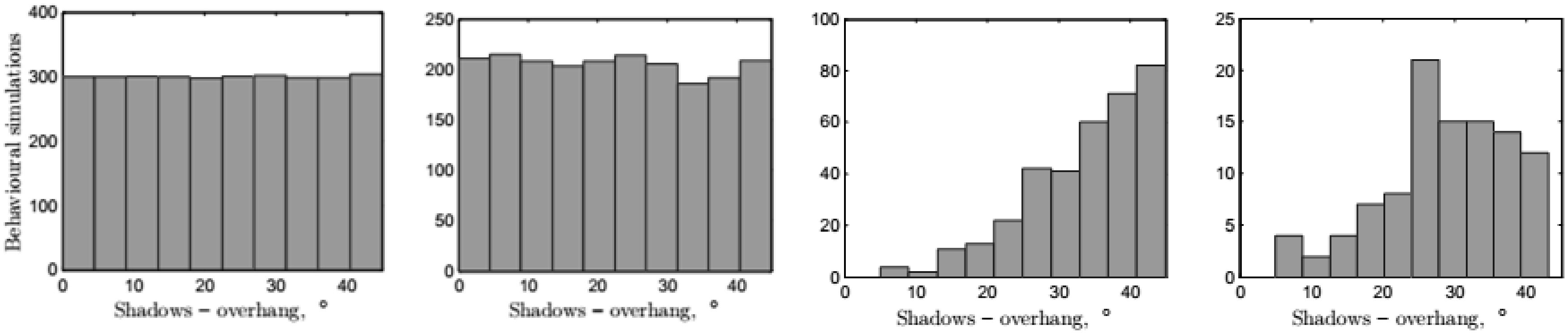
PAS PÅ… ensidigt fokus på energi

- Ændringer kan påvirke:
  - Termisk komfort
  - Dagslys
  - Materialeforbrug
  - Brugen af bygningen
  - osv.



Monte Carlo Filtering

1. Lav **uniforme** inputfordelinger
2. Foretag Monte Carlo simuleringer (1000+)
3. Filtrer resultaterne i forhold til krav/ønsker
4. Observér hvilke input, der giver acceptable resultater



(a) No filtering

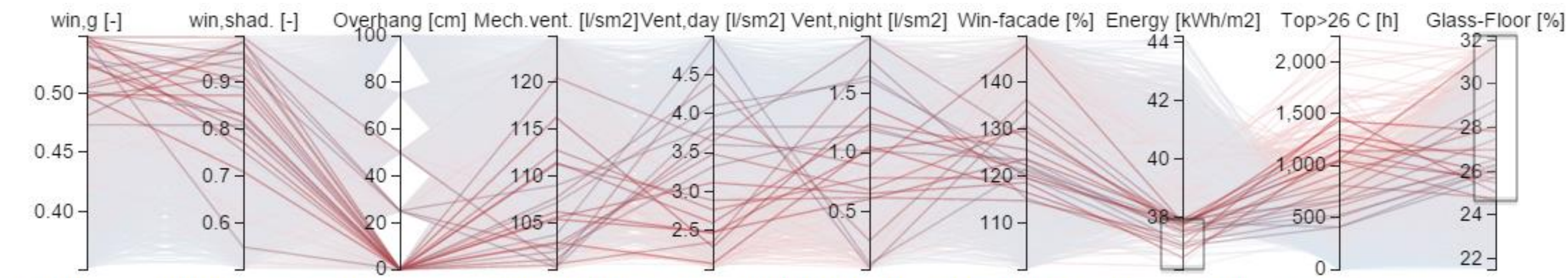
(b) One filter:
- Energy

(c) Two filters:
- Energy
- Thermal

(d) Tree filters:
- Energy
- Thermal
- Daylighting

Interaktiv analyse

- Analysér sammen med arkitekt, bygherre og entreprenør



win,g [-]	win,shad. [-]	Overhang [cm]	Mech.vent. [l/sm2]	Vent,day [l/sm2]	Vent,night [l/sm2]	Win-facade [%]	Energy [kWh/m2]	Top>26 C [h]	Glass-Floor [%]
0.540625	0.929688	25	108.9844	3.828125	1.21875	121.0938	37.5	522	26.01322
0.4734375	0.808594	0	103.7109	4.976563	0.046875	121.4844	37.8	405	26.09713
0.5484375	0.996094	50	100.5859	2.351563	1.796875	115.2344	36.9	806	24.75451
0.53203125	0.794922	0	101.0742	3.746094	0.882813	147.8516	37.8	1052	31.7613
0.49765625	0.708984	0	105.3711	2.480469	0.601563	123.6328	37.9	1294	26.55866
0.54609375	0.900391	0	105.5664	3.113281	0.648438	118.5547	36.6	1144	25.46778
0.52421875	0.814453	0	111.4258	2.597656	1.242188	125.5859	37.8	1135	26.97823
0.544140625	0.547852	0	101.9043	3.318359	1.191406	122.3633	37.5	654	26.28594
0.498828125	0.87207	0	102.8809	2.076172	1.050781	116.5039	37	1471	25.02723
0.521484375	0.963867	25	100.2441	3.962891	1.652344	119.8242	37	406	25.7405

Interesseret i mere?

- Se mere på buildingdesign.moe.dk → ”research project” (forventet ”klar” ved udgangen af november)