

## Slutrapport for projekterne 343-049 og 345-015

### 343-049

A+E:3D - digitalt værktøj til arkitektonisk energioptimering tidligt i designfasen af bygninger, fase 2

### 345-015

A+E:3D - digitalt værktøj til arkitektonisk energioptimering og -renovering i de tidlige designfaser - Fase 2.1 Renovering

#### *Projektleder:*

VGLCPH aps, Bodegårdsvej 6, 3050 Humlebæk, CVR 28287704

att: Vibeke Grupe Larsen

### **A+E:3D - generelt**

A+E:3D udvikles af en multidisciplinær arbejdsgruppe, der er sammensat af repræsentanter fra det praktiske erhverv, forskningsmiljøer og udviklingsmiljøer.

A+E:3D er en igangværende proces om udvikling af et redskab for arkitekter. A+E:3D skal skabe det nødvendige overblik og sikre, at arkitektur og energi går op i en højere helhed fra et meget tidligt tidspunkt i formgivningsprocessen, og den vej medvirke til konstruktiv dialog mellem arkitekt og ingeniør, i bestræbelserne på i samarbejde at skabe energioptimeret arkitektur. A+E:3D benytter SBI's BE06 beregningskerne som grundlag for beregningerne og A+E:3D kan *overordnet* betegnes som en udbygning af BE06 programmet med et 3D interface, hvor de underlæggende beregningsparametre er de samme.

A+E:3D er udvikles til arkitekter, med henblik på at arkitekter, ingeniører og bygherrer hurtigt og i dialog kan foretage iterative, 3D-grafiske energiberegninger af forskellige arkitektoniske, geometriske og formmæssige løsningsmodeller som et led i en strategisk energioptimering fra meget tidligt i formgivningsforløbet. Efterspørgselen på et sådant program er meget stor og meget akut, da de eksisterende programmer overvejende er udviklet for ingeniører og anvendes i detailfasen, dvs. sent i formgivningsforløbet.

Ideen om at udvikle et dialogværktøj for arkitekter og ingeniører om energioptimering opstod hos SBI tilbage i 2005, og er udviklet i samarbejde med VGLCPH, Esbensen, de to arkitektskoler og Akademisk Arkitektforening, gennem ELFORSK-publikationen "Arkitektur og Energi", (der fik ELFORSK-prisen i 2007), "Bygninger Energi Klima" (2008), projektet "Workshops for arkitekttegnestuer" (2009), samt ELFORSK-forprojektet "Kravspecifikation for applikation til energioptimering af bygninger i de tidlige skitseringsfaser" (2010).

Den bærende ide i alle disse projekter er at etablere metoder og redskaber for arkitekter, ingeniører og bygherrer til analyser af forskellige arkitektoniske, geometriske og formmæssige løsningsmodeller, som et led i energioptimering fra meget tidligt i formgivningen af et projekt.

Henning Larsen Architects og Interactive LaB Production blev involveret i processen i 2010, i forlængelse af arbejdet med at definere en kravspecifikation. Hos Henning Larsen Architects faldt projektet naturligt ind i et forskningsforløb om det samme emne, og ILP havde den fornødne erfaring med spilproduktion, der kunne give applikationen lethed, i f.t. eksisterende og mere tunge applikationer.

Arkitektforeningens to netværk har både i forprojektet og i de første faser af projektet været aktive sparringspartnere for projektgruppen. Der har været afholdt flere workshops i det store forum, hvor arkitekters behov og forventninger er blevet diskuteret, og der har også været afholdt brugerworkshops, hvor netværkernes medlemmer har hjulpet med at teste A+E:3D.

ELFORSK har også været en aktiv sparringspartner for projektgruppen og har blandt andet deltaget i projektgruppens følgegruppe, der også har givet feedback på A+E:3D i udviklingsarbejdet.

Projektet er indtil nu gennemført i 3 faser, efter kravspecifikationsprojektet, alle finansieret fra ELFORSK og af de involverede parter.

### **342-014**

*A+E:3D - digitalt værktøj til arkitektonisk energioptimering tidligt i designfasen af bygninger, fase 1.*

Fase 1/version 1.0 (ELFORSK projekt 343-014) omfattede udvikling af en grundstruktur, der kan håndtere energiberegninger for enkle bygningsgeometrier, og blev gennemført i tidsrummet marts 2010-marts 2011. Projektet er afsluttet.

Version 1.0 fik ELFORSK-prisen i 2012. "Programmet A+E:3D viser lovende udsigter for, hvordan vi fremover tidligt skal tænke energibesparelser i byggeprocessen ind. Det gælder ikke kun i form af nybyggeri. Der er også mange perspektiver i at bruge værktøjet til anvendelse i renoveringen af den eksisterende bygningsmasse. Det er bl.a. dette potentiale i A+E:3D, som har givet holdet bag A+E:3D ELFORSK Prisen 2012, i skarp konkurrence med en række andre spændende projekter", siger Jørn Borup, forskningskoordinator for ELFORSK.

*Mere end 500 personer har downloadet A+E:3D version 1.0 fra [www.apluse.dk](http://www.apluse.dk)*

### **343-049**

*A+E:3D - digitalt værktøj til arkitektonisk energioptimering tidligt i designfasen af bygninger, fase 2*

Fase 2/version 2.0 (projekt 343-049) omfattede videreudvikling af værktøjet, så det kunne håndtere komplekse bygningsgeometrier og give kompleks feedback til brugeren. Fase 2 blev gennemført i tidsrummet april 2011-januar 2013.

De primære udviklingsopgaver i fase 2 var:

- 1. Avanceret geometri.** At kunne håndtere og beregne komplekse modeller for så vidt energimæssig ydeevne var et meget udbredt ønske fra slutbrugerne, og den mest omfangsrige udviklingsopgave i fase 2 var derfor at sikre mulighed for import af avanceret geometri. Udover at kunne understøtte denne import i mere komplekse 3D modeller, skulle A+E:3D endvidere understøtte *run-time* ændringer af skitsen, eksempelvis fremspring på klimaskærmen og etageinddelinger.
- 2. Raffinering af brugerflowet.** En arkitekt producerer typisk 20-30 modeller i skitsefasen. Til hver model skal der i gennemsnit testes 5 parametervariationer af klimaskærm, tekniske installationer og volumen. Det kan blive op til 150 rapporter i alt, hvilket stiller krav om at A+E:3D ikke blot skal kunne understøtte en effektiv beregning af de importerede skitser, men samtidig kunne sikre en overskuelig organisering af disse, så brugeren kan finde hurtigt frem til de rapporter, han ønsker at anvende i dialogen med projektets øvrige parter. Et succeskriterium for at A+E:3D skal kunne tilføre værdi til den skitserende fase, og derfor var et intuitivt og effektivt brugerflow en af de tre udviklingsopgaver. Anatomien i den grafiske brugergrænseflade, inddelingen af rækkefølgen i funktioner og organisering af data, var meget vigtige design- og udviklingsopgaver i fase 2.
- 3. Udvidelse af feedback systemet (storytelling).** I fase 2 skulle dette matrix udvides og gøres yderligere "intelligent". Det skulle kunne foretage en yderligere nøjagtig analyse af parameterindstillingerne, sammenholde disse med brugerens målsætninger og give endnu mere præcis feedback.

Imidlertid voldte ambitionerne udfordringer. Aplikationen skulle kunne beregne ikke-rektangulære former, og sammensætning af flere sådanne, samt atrier. Dette kunne desværre ikke lade sig gøre i den

beregningsmodel, som vi havde udviklet, og vi måtte derfor renoncere på modellen om omtænke grundmodellen.

Den primære årsag til de pågældende udfordringer m.h.p. skulle findes i den beregningsmetode, som er blevet udviklet specielt til A+E projektet, med afsæt i BE10. og vi måtte derfor ind i at foretage en analyse af, om beregningsmodellen skulle ændres.

Metoden var en avanceret videreudvikling af BE10 beregningskernen, som principielt kan beskrives således<sup>1</sup>:

*En 8 etagers bygning med fire facader og et atrium indeholdt i alt 48 underzoner, idet hver etage rummede 8 zoner, fire mod facaden og fire ind mod atriet. Da brugeren, i forhold til A+E 1.0, havde øget frihed ift. at modificere geometrien og klimaskærmen kunne det potentielt give 48 forskellige datasæt, dvs. 8 datasæt pr etage. Var der én fejl i én af de 48 datasæt, kunne det potentielt have negativ på de resterende 47.*

*Dertil kom sammensætning af flere former til én bygning. Som metoden så ud, skabte den en negativ kædereaktion, som gjorde det umuligt at estimere, hvornår beregningsfejl kan forventes at være rettet. Vi havde flere gange haft opfattelsen af at være færdige med beregningsdelen, hvorefter en ny testrunde viste fejl, som har betydet at flere led i kæden (xml ark) skulle rettes til.*

I den aktuelle version beregnede modellen korrekt i ca. 90% af de testede usecases. Men især geometrier med atrier gav ofte fejlberregninger. I mange tilfælde kunne A+E bruges som intenderet.

---

**Note: Uddybende beskrivelse af Udregningsmetoden**

Målsætning med AE3D fase 2 har været at tillade beregninger af komplekse geometrier og større bygningstyper med følgende egenskaber:

- Sammensatte former
- Polygoner
- Skrå facader/tage
- Atrier

Komplekse bygningsformer vil typiske være zonedelte, med forskellige indeklimatiske, dagslys-, og energimæssige forhold i bygningens forskellige zoner eller områder. Det har derfor været en ønske om at give mere nøjagtige beregninger som kan give indikationer af hvilke zoner i større bygningstyper oplever problemer i forhold til dagslys og/eller termisk indeklima.

I fase 2 er det geometriske grundlag fra fase 1 blevet videreudviklet. I hver bygningsform, som ses i programmets geometri-vindue, er hver etage af bygningen opdelt i 5 eller 6 zoner:

- Zone 1-4 som svarer til zonerne langs vinduesfacaderne. Hver zone har en dybde (og derfor areal) som svarer til rumdybden med en dagslysfaktor på 2% eller mere. Geometrien genereres af rumhøjde, glastype, glasareal samt skyggeeffekten af det omkringliggende landskab.
- Zone 5 er kernen, dvs den del af etagearealet som ikke har vinduer, og derfor ikke er belyst med dagslys.
- Zone 6 er atriet, som ligger ind i zone 5, hvis brugeren vælger at tilføje et atrium til modellen.

Det betyder at en simpel 3-etagers kontorbygning består af op til 15 eller 18 zoner, afhængigt om der er et atrium. Det betyder at det er fx muligt at give en mere præcist billede af problemer med overophedning på den øverste etage mod syd, eller med manglende dagslys på stueetagen i bymæssige omgivelser.

Men hver eneste ændring i bygningsgeometrien eller i programmets sliders, betyder at geometrien og datagrundlaget for alle zoner skal beregnes igen i 3D-modellen og efterfølgende importeres i Be10-kernen, beregnes igen i Be10, og efterfølgende skal resultaterne trækkes ud og behandles før de præsenteres til brugeren. Der er især mange geometriske og beregningsmæssige afhængigheder i kalkulationsforløbet som det har vist sig at være meget svært at styre.

Men projektgruppen konkluderede at en usikkerhed på 10% og uigennemsigthed i f.t. at identificere forkert beregnede underzoner ikke var tilstrækkeligt grundlag til at kunne udgive programmet.

I processen frem mod denne erkendelse var en af konsekvenserne desværre, at den programmør, der havde siddet med programmeringen af A+E:3D, i flere omgange, siden primo maj 2012 blev af stress, og følgelig langtidssygemeldt.

For at kunne udgive 2.0 var det derfor nødvendigt, at inddrage en ny programmør i projektet. Da en stor del af A+E:3D er meget beregningsteknisk, var der en stejl indlæringskurve før den pågældende programmør var funktionsdygtig på A+E:3D. Samtidig var vi nødsaget til at afvente den stressramte programmørs raskmelding, før han kunne inddrages i overdragelsen af den opnåede viden.

Dertil blev udviklingstiden forlænget, belært af erfaringerne med den seneste proces, for at nå i mål med de aspekter af A+E:3D, som er beskrevet ovenfor.

Samtidig fandt vi det nødvendigt at foretage en evaluering af beregningsmetoden, for at teste om vi skal vende tilbage til 1 zone per form, i stedet for flere zoner, hvilket imidlertid ikke kunne foretages, før den nye programmør var på omgangshøjde med A+E:3D.

Version 2.0 blev færdiggjort med disse forbehold primo 2013, hvorefter vi gik i gang med fase 2.1/version 2.1.

### **345-015**

*A+E:3D - digitalt værktøj til arkitektonisk energioptimering og -renovering i de tidlige designfaser - Fase 2.1 Renovering*

Fase 2.1/version 2.1 (projekt 345-015) omfattede videreudvikling af værktøjet, så det kunne håndtere komplekse sammensatte former, atrier, renovering og give kompleks feedback til brugeren. Fase 2.1 blev gennemført i tidsrummet april 2013-januar 2014. Dette projekt var en videreudvikling af det digitale værktøj A+E:3D version 2.0 for arkitektonisk energioptimering og -renovering i de tidlige designfaser.

A+E:3D ver 2.1 skal kunne håndtere energirenovering. For at sikre en fortsat god udviklingsproces havde projektgruppen følgende aktiviteter prioritering i fase 2.1:

- 1. Undersøgelse, med afsæt i A+E:3D ver 2.0, af præmisserne for at A+E:3D skal kunne håndtere samling af BE10 filer til én samlet xml-fil*
- 2. Kravspecifikation / Implementering af funktionaliteter for energirenovering i A+E:3D i forlængelse af pkt. 2 i en version 2.1.*

Ad 1 - I ver 2.0 er der udviklet den nødvendige funktionalitet for at kunne samle det store antal BE10 enkelt-filer, som en analyse i A+E:3D afstedkommer, til én samlet XML-fil. Denne fil vil dog indeholde en række forenklinger og tab af detaljer, som især ved analysen af eksisterende bygninger kan bevirke, at vigtige tekniske detaljer og nuancer ikke kan håndteres i tilstrækkeligt omfang, og præcisionen kan derfor worst case blive svækket u hensigtsmæssigt meget. Der er derfor brug for en undersøgelse af, om de grundlæggende beregningsparametre må omdefineres, ved at gå fra et flerzoner-princip til et enkeltzoneprincip, for at det kan lade sig gøre at håndtere xml-filerne fra A+E:3D i et integreret modul, som, skjult for brugeren, kan simuleres i BE10.

Ad 2 - På baggrund af denne undersøgelse vil det være muligt at vurdere og specificere de parametre, som definerer hhv. nye bygninger og eksisterende bygninger, og herigennem kan implementeringen af funktionaliteter m.h.p. energirenovering konkretiseres, og omsættes i kravspecifikation og programmering i 2013, til en version 2.1.

Undersøgelserne er blevet gennemført, og der er på baggrund heraf udviklet en ny model, som er omsat i A+E:3D, som kan downloades fra [www.apluse.biz](http://www.apluse.biz) fra 03.02.14. A+E:3D findes både på dansk og engelsk. Version 2.1 samler op på konstaterede fejl i beregningsmetoder fra version 2.0 og tilføjer ydermere den funktionalitet, at strategiske modeller for energirenovering af eksisterende bygninger kan testes i A+E:3D version 2. Versionen ledsages af en usecase, hvor version 2.1 er afprøvet på en renoveringscase.

## **Kommende projekt 346-026**

*A+E:3D DIGITALT VÆRKTØJ FOR ARKITEKTONISK ENER-GIOPTIMERING OG -RENOVERING I DE TIDLIGE DESIGNFASER - Metodeudvikling / Kommunkation.*

På baggrund af version 2.1 gennemføres i 2014 workshopforløb med to-tre arkitekt- og ingeniørteams, om anvendelse af A+E:3D i konkrete design- og projekteringsforløb, inden for hhv.. nybygning- og renoveringsprojekter.

Der afholdes en offentlig event i forbindelse med lanceringen af version 2.1, og denne event markerer samtidig en kick-off for to-tre workshopforløb. Eventen omtales i arkitektur- og ingeniørmedier, med indbydelse til, at interesserede teams kan rekvirere workshops og undervisningskompetencer, mod at stille deres proces til rådighed for byggebranchen i en påvisning af A+E:3D's potentiale og validitet.

To-tre teams udvælges, og gennem foråret 2014 udvikles og planlægges workshopforløbene med disse teams. Der afholdes en offentlig info-event i juni 2014 i regi af Akademisk Arkitektforening, som optakt til forløbene, der gennemføres i august/september 2014.

I oktober foretages en opsamling på forløbene, der formidles gennem arkitektur- og ingeniørmedier og afsluttes med en info-event i regi af Akademisk Arkitektforening i november 2014

Projektgruppens intentioner med fremtidige versioner efter 2.1 er at udvikle en forretningsmodel, der sikrer at A+E:3D kan udvikles i en takt, der omfatter:

**A+E:3D Version 3.0** vil omfatte internationale vejrdata, så man kan arbejde med simple og komplekse geometrier og renovering, både i DK og andre EU-lande, *således at den danske beregningsmetodik i h.t. BR10/15/20 kan anvendes til renovering og nybygning både i og uden for Danmark.*

A+B:3D ver 4.0 vil kunne omfatte overordnede materialebetragtninger. Gennem workshops i forløbet har projektgruppen bemærket brugernes behov for, på meget overordnet niveau og tidligt i skitseringsfasen, at etablere et overblik over livscyklusforhold på de primære materialer, som indgår i de indledende volumenstudier, f.eks. beton, glas, stål, mur, isoleringsmaterialer mm., dvs. levetid og miljøpåvirkninger knyttet til de overordnede materialeforbrug.

A+B:3D ver 5.0 vil kunne omfatte overordnede priser på primære materialer. På samme niveau som forsåvidt primære materialer har projektgruppen tillige konstateret behov at brugeren meget hurtigt kan orientere sig prismæssigt, om der overslagsmæssigt er markante prisforskelle i anlægsomkostninger og driftsomkostninger ved at afprøve alternative materialer