TEKNOLOGISK
INSTITUT

Intelligente bygninger

En case-samling til inspiration i rådgivning – temadage og øvrig videnspredning

Hvad karakteriserer en intelligent bygning?

Bygningen

- tilfredsstiller brugernes behov for funktionalitet og et behageligt, effektivt og sikkert miljø, med et lille ressourceforbrug
- har typisk, men ikke nødvendigvis, et højt niveau af IKT-installationer, bygningsautomatik, og integrerede systemer, som sikre effektive tjenester
- er omkostningseffektiv gennem optimering af funktioner og ressourceforbrug, herunder energiforbrug og vedligeholdelse
- er fleksibel og kan tilpasses ændrede behov og ændringer i de omkringliggende infrastrukturer (bl.a. energiforsyning)
- dokumenterer løbende forholdene i bygningen, og relevante alarmer sætter driftspersonalet i stand til hurtigt at kunne udbedre fejl og mangler

TEKNOLOGISK INSTITUT

Ved projektering, konstruktion og idriftsættelse

- bygningen er projekteret til at kunne tilfredsstille fremtidige funktioner og behov
- der er anvendt energieffektive komponenter, systemer og styring
- styringen er integreret, så det undgås, at systemer modarbejder hinanden
- der er anvendt tilstrækkelige med tid til at installere, programmere og afprøve styringen før ibrugtagningen af bygningen
- der er gennemført en fuld commissioning proces efter DS 3090:2014 (https://webshop.ds.dk/da-dk/standard/ds-30902014)
- der er gennemført en samordnet idriftsættelse efter f.eks. Byggestyrelsens paradigmer (https://www.bygst.dk/godt-byggeri/performancetest/best-practice/)
- krav til bygningens bæredygtige drift understøttes af den intelligente styring

TEKNOLOGISK INSTITUT

Ved drift

- installationer og styring skal opretholde en god komfort i bygningen med hensyn til temperatur, luftkvalitet, lys- og lydforhold, m.m. ved et lavt energiforbrug
- komfortforholdene bør i 95 % af brugstiden ligge indenfor komfortklasse 2 i DS/EN 16798-1 (https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/DS-EN-16798-1-2019-1149192_SAIG_DS_DS_2726376/)
- alle bygningens rum skal kunne styres individuelt
- der skal indsamles og lagres separate forbrugsdata for bygningens delinstallationer samt styringssignaler, komfortværdier for hvert rum, vejrdata samt eventuelle prissignaler, hvis bygningen styres energifleksibelt for at støtte stabiliteten af omliggende energinet
- styringen skal løbende på baggrund af målingerne danne Key Performance Indicators (KPIs) ud fra hvilke, det er muligt at evaluere om bygningen fungerer korrekt

TEKNOLOGISK INSTITUT

Udfordringer og erfaringer

- øget IKT fører ikke nødvendigvis til en intelligent bygning.
- for stor kompleksitet kan lede til dårlig drift af bygningen, fordi systemerne let kommer til at modarbejde hinanden
- bygningsudformninger med dynamiske facader, store glasarealer og åbne etager mod bygningshøje atriummer giver indeklimaudfordringer også for en intelligent styring
- ofte er bygningen ikke indreguleret korrekt før ibrugtagning, og det er svært at gøre dette efterfølgende
- ofte leder ændret brug af bygningen til dårligere komfort og øget energiforbrug, fordi der ikke er indtænkt fleksibilitet i installationer og styring
- det er lettere at registrere og rette markante fejl end kombinationer af mindre fejl
- ofte symptombehandles i stedet for at fjerne problemerne

Internationale spektakulære eksempler - en uvildig løbende evaluering vil være nyttig

The Edge , Amsterdam

UNIQA TOWER, Wien

The Crystal, London

Ampère e+, La Defence

TEKNOLOGISK INSTITUT

Intelligent byggeri 2020 - udfordringer

- ofte vises atypiske markante byggerier uden tilgængelig evaluering og dokumentation af funktion, brug og ressourceforbrug (herunder energi).
- fokus er bredt og forskelligt, fx bæredygtighed, lave driftsudgifter, forbedret funktion, komfort og produktivitet.
- koncepterne for intelligens varierer fra relativt simple til meget komplekse omfattende løsninger – hvad er det rigtige niveau for en specifik bygning ?
- sammenligning/benchmarking med andre mere almindelige byggerier er vanskelig
- udsagn om omkostningseffektivitet kan vanskeligt underbygges

- aktørernes erfaringer fra teknologier og styringer forventes at bidrage til enklere løsninger i almindeligt nybyggeri og renovering

Hvad kan intelligensen bidrage til ?

(*markerer relation til energianvendelse)

For brugeren:

- booking af møderum*, parkeringsplads, el-bil ladning*
- valg af arbejdsplads*, personlig komfort*, behovsstyret generel komfort*, markering af tilstedeværelse, kollegakontakt
- synliggørelse/information og forståelse for sammenhængen mellem intelligent styring, brugerens egne styringsmuligheder, bæredygtig adfærd og ønske til energiydelser (fx indeklima)*
- optimalt arbejdsmiljø

For den driftsansvarlige:

- bedre databaseret energi- og miljøstyring/-ledelse*, prædiktiv styring*
- mere effektiv fejlfinding*, optimeret funktion af installationer*, databaseret vedligehold*, rengøring, sikkerhed, anvendelse af faciliteter*
- data til analyser og samspil med energiforsyning*, optimeret udnyttelse af egen VE*, analyser og udnyttelse af energifleksibilitet – herunder lagring*, bedre ressourcestyring*.

For ejeren:

- Analyser af bygningsdrift og anvendelse*, måling af brugertilfredshed, energi- og ressourceeffektivisering*, ejendomsværdi, optimeret D&V

Danske eksempler på bygninger, der er - eller burde være intelligente

- BOLIG+
- Green Tech House
- OU44
- UN byen
- Tuborg Blvd 12

BOLIG+ - Søborg

Intentionen:

- Danmarks første energineutrale boligbyggeri
- 10 boliger på 2-4 værelser og 90-140 m²
- bruttoetageareal: 1.049 m²
- producer på årsbasis lige så meget primær energi som bygning og beboere anvender
- fokus på en integreret designproces og ikke avanceret styring
- anvendelse af kendt teknologi på en intelligent måde
- solceller på facader og taget dækker det årlige energiforbrug

BOLIG+ i Søborg, Gladsaxe

BOLIG+ konceptet

BOLIG+ konceptet bygger på 6 dogmer

- energineutralitet i den betydning, at boligen/bygningen på årsplan skal producere lige så meget primær energi, som der forbruges, inkl. beboernes energiforbrug til lys, madlavning, underholdning, mm.
- bygningen skal have et godt og sundt indeklima
- bygningen skal være fleksibel over tid og sted
- bygningen skal være intelligent og brugervenlig
- bygningen skal passe ind i det lokale energiforsyningssystem og den lokale arkitektur
- bygningen skal kunne opføres på normale markedsvilkår

Hele BOLIG+ processen er detaljeret beskrevet på http://boligplus.org/

TEKNOLOGISK INSTITUT

Erfaringer fra BOLIG+ i Søborg

- hvis solcellerne havde ydet som projekteret, ville bygningen være energineutral
- der blev gennemført et detaljeret måle- og evalueringsprogram. Ved idriftsættelsen af bygningen blev der ved hjælp af målingerne løbende konstateret fejl og mangler, som blev rettet => commissioning processen er vigtig
- der er målt indeklima i stue og soveværelse i hver bolig:
  - i 14 ud af de måle 20 rum overholder rumtemperaturen i 95 % af tiden komfortklasse 2 i DS/EN 15251:2007
  - der er klager over tør luft om vinteren, som skyldes et korrekt luftskifte
  - CO_2 niveauet er størstedelen af tiden under 1000 ppm undtagen i én lejlighed, hvor ventilationsanlægget kun kørte, når emhætten var i gang, eller toilettet blev benyttet, på grund af følt træk i soveværelset
  - lysforholdene er gode, da de fleste rum har lys fra mere end en side

Resultatet fra måle- og evalueringsprogrammet i BOLIG+ i Søborg kan finde i https://sbi.dk/Pages/BOLIG-energineutrale-etageboliger.aspx

Green Tech House - Vejle

- 3.577 m² kontorbygning fra 2014 med plads til 200 medarbejdere
- fjernvarme med vejrkompensering
- fire zonekøleflader i ventilationsanlægget på hver etage
- behovstyret ventilation i forhold til temperatur, CO_2 og tilstedeværelse
- facadevis automatisk styrede solgardiner
- behovstyret belysning på baggrund af tilstedeværelse og dagslys i de fleste rum
- stort CTS anlæg med mange målere og sensorer, herunder bimålere

Green Tech House - erfaringer

- bygningen var projekteret til at overholder energikravet i BR15 , men målinger og simuleringen viser, at bygningen kun overholder BR10
- bygningen huser flere små opstartsvirksomheder, hvilket betyder aktivitet i en stor del af døgnet timer => øget energiforbrug
- på trods af fire zonekøleflader på hver etage, kan rummene ikke styres individuelt
- ingen koordinering mellem styringen af HVAC anlæg og solafskærmning
- målinger i bygningen bliver ikke anvendt til at beregne KPI'er
- rimelig dokumentation af installationerne i bygningen
- den ansvarlige for driften af bygningen har en god forståelse for, hvordan bygningen køres bedst muligt. Personaleskift vil her derfor sandsynligvis lede til problemer med styringen af bygningen
- Resultatet af en audit af intelligensen i bygningen kan findes i: https://www.dti.dk/projects/project-coordicy/41886?cms.query=coordicy

OU44 – Syddansk Universitet, Odense

Bygningen gennemgik en i udbuddet varslet samordnet idriftsættelse i henhold til Byggestyrelsens paradigmer: https://www.bygst.dk/media/603685/best-practice_ventilation_sdu-ou44.pdf

- undervisnings- og kontorbygning på 8.500 m² fra 2015
- lever op til Bygningsklasse 2020
- intet køleanlæg
- energieffektive installationer
- stort CTS anlæg med mange sensorer og bimålere (nogle steder på rumniveau), herunder temperatur, fugt. CO_2, tilstedeværelse og lyssensorer i flere rum
- der beregnes KPI'er for bygningen på baggrund af måledata

OU44 – erfaringer

- på grund af kravet om samordnet idriftsættelse fungerede installationer og styring korrekt fra dag ét
- OU44 bliver ud over at være en aktiv undervisnings- og kontorbygning anvendt til videnskabelige formål. Der er bl.a. udviklet og testet online performance tests til bygningen – se: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817340707#fig0003
- studerende skal booke studierum online, således at rummene er konditionerede i de bookede perioder. Dog sker det ofte at bookede rum ikke anvendes, eller rum anvendes uden at være booket. Dette leder til forringelse i indeklimaet og/eller forøget energiforbrug i bygningen

UN Byen - København

- kontorbyggeri på 50.000 m^2 fra 2013 med plads til 1500 medarbejdere (100 nationaliteter)
- platinum LEED-certificering, samt EU - Green Building Award
- fjernvarme og 1.413 PV paneler (207 MWh/år)
- køling, primært med havvand
- dynamiske facader med automatisk udvendig solafskærmning (1455 paneler)
- CTS/BMS, samt "MyOffice" brugerstyring af termisk indeklima og ventilation – styring på rumniveau/arbejdspladsniveau
- belysning med bevægelses sensorer
- vandbesparelser, herunder anvendelse af 3.000 m^3 regnvand fra tagfladen

UN Byen – København - Erfaringer

- varmeforbrug og el-forbrug var de første år mere end dobbelt så høje som beregnet
- CTS/BMS har givet udfordringer, vurdering af korrekt indstilling vanskelig – fx forkert solafskærmning, samtidig køling og opvarmning
- brugernes forventninger, forståelse og anvendelse af Myoffice skal forbedres via information og indeklimapolitik
- vanskeligt at vælge indstillinger og optimal styringsstrategi for bygningens udformning, installationer og brug
- energistyring og drift er ressourcekrævende, struktur og ansvarsfordeling er vigtig

(Ref: UN city – Intelligent interaction between buildings and users, DTI 2018)

Tuborg Blvd. 12, Tuborg Havn, Hellerup

- kontorbygning i 5 etager + kælder fra 2002
- bruttoareal: 21.199 m² inkl. et atrium på 1.182 m²
- stort glasareal mod nordvest
- mekanisk ventilation i kontorarealer og naturlig ventilation af atriet
- køling via ventilationsluften samt via kølebafler i kontorarealerne
- stort og avanceret cts-system med mange målepunkter

TEKNOLOGISK INSTITUT

Tuborg Blvd. 12, Tuborg Havn - erfaringer

- ved 5 års gennemgangen var der stadig mange fejl på installationerne
- for højt energiforbrug og for dårligt indeklima (specielt overophedning og træk)
- atriet var tiltænkt som cirkulationsareal med lav temperatur, men da det er et rart rum, blev kantinen delvist flyttet derud, og temperaturen derfor hævet til normal komforttemperatur
- styring som ledte til, at systemer modarbejdede hinanden
- driftspersonalet havde meget lidt viden om det installerede cts-system
- flere forkerte temperaturmålinger, fordi f.eks. en reol var sat foran en temperaturføler eller kold luft fra kølebaflerne ramte sensoren
- symptombehandling af detailproblemer som ofte førte til problemer andre steder i bygningen
- de fleste alarmer var slået fra, da driftspersonalet ikke kunne overkomme dem
- ringe styr på dokumentationen af bygning, installationer og styring

Resultaterne fra et måle- og evalueringsprojekt i bygningen kan finde i http://www.buildvision.dk/multiparametercontrollere.asp

Ét eksempel på dårlig styring - Tuborg Blvd. 12

En kølig forårsmorgen med en udeluft temperatur på 10°C:

- bygningen var overophedet fra dagen før
- ventilationsanlæggene startede mellem kl. 4 og 6, hvor indblæsningstemperaturen var sat til 21°C
- det betød, at den roterende varmeveksler blev startet
- det var ikke nok, så varmefladen med fjernvarme blev også startet op for at nå de 21°C
- men da rumtemperaturen i bygningen generelt var for høj, blev køleanlæggene startet for at reducere temperaturen i bygningen

Dvs. at der først blev brugt energi på at opvarme den friske luft, hvorefter der blev brugt energi på at nedkøle bygningen, fordi der var overophedningsproblemer i bygningen.

Det er energispild, da den friske luft kunne være brugt direkte og ”gratis” til at køle bygningen ned, før personalet mødte mellem kl. 8 og 9.

TEKNOLOGISK INSTITUT

Kan intelligensen i en bygning måles?

Den rigtige måde, at bestemme om en bygning virkelig er intelligent, er ved at evaluere detaljerede måledata for længere perioder vinter, sommer samt en overgangsperiode. Dette er dog en omkostningstung opgave, som sjælden bliver gennemført i bygninger.

I stedet er der blevet udviklet to metoder baseret på inspektion af installationer og styring i en bygning:

- DS/EN 15232 (https://webshop.ds.dk/en-gb/standard/ds-en-15232-12017)
- Smart Readiness Indicators (SRIs) (https://smartreadinessindicator.eu/)

Metoderne er begge baseret på en oplistning af hvilke installationer, der er i bygningen, samt hvordan de styres. De enkelte styringsmuligheder tilskrives point efter, hvor intelligente de er. Herudover tilskrives der point for integreret styring, for delmålinger og KPI'er.

Metoderne er statiske, hvilket betyder, at der ikke rigtigt tages stilling til, hvordan systemerne og styringen virker under dynamiske forhold – dvs. under drift.

DS/EN 15232

EN 15232 angiver en detaljeret metode til karakterisering af, hvor intelligent styringen af en bygning er, men den er ikke særlig operationel. Derfor har den europæiske brancheorganisation for bygningsautomation eu.bac (www.eubac.org/home/index.html) udviklet et Excel baseret værktøj til evaluering af intelligensen i en bygning baseret på EN 15232.

I den forbindelse er der desuden udviklet en audit ordning, hvor en autoriseret person på baggrund af en inspektion kan udstede et certifikat i stil med energimærket, der på en skala fra AA-E angiver intelligensen af bygningen

TEKNOLOGISK INSTITUT

eu.bac audit

eu.bac european building automation controls association

Import data from a v25 Check-list

eu.bac System Inspection Check-list v26.2

BUILDING FACTS					
Building name	Green Tech house				
Building address	Lysholt Alle 6	Country	DK	Postcode	7100
Building built year	2014				
Building type	Office				
Building owner	GREEN TECH HOUSES ApS				
Building contact person					
Assessment date	26-02-2019				
Inspector name					
Status of inspection					

POINTS AND CLASS SUMMARY					POINTS	
Section	Description	Importance	Actual Imp.	Norm. Score	Result	<5%
1	Heating control	10	10.00	49.22	9	
2	Domestic hot water supply control	2	2.00	0.00	0	
3	Cooling control	10	10.00	28.52	5	
4	Ventilation and air-conditioning control	10	10.00	76.43	13	
5	Lighting control	5	5.00	83.55	7	
6	Blind control	5%	2.87	33.33	2	
7	Technical home and building management	10	10.00	52.33	9	
8	eu.bac Key Performance Indicators	5%	2.87	0.00	0	
9	eu.bac Extended Functionality	5%	2.87	29.63	1	
10	eu.bac Certified Products	3%	1.72	0.00	0	
NORMALIZED TOTAL (0-100)			57.32		46	
			eu.bac System (E–AA):		D	

Resultatet af eu.bac audit i Green Tech House

Komponenter og indtastningsflowet i eu.bac registreringsværktøjet

eu.bac audit

Green Tech House scorede kun 46 ud a 100 point = label D.

Den lave score skyldtes bl.a., at der ikke var individuel styring af rummene, brugsvandsforsyningen kører hele døgnet, ingen koordinering mellem solafskærmning og HVAC anlæg, for få bimålere, ingen diagnose og analyse værktøjer, ingen KPI'er, ingen koordinering med de omgivende energinet, mm.

OU44 scorede 75 ud a 100 point = label A.

Den høje score skyldes, at der er diagnose og analyse værktøjer samt beregning af KPI'er. At bygningen trods alt ikke scorer højere, skyldes bl.a., ingen koordinering mellem solafskærmning og HVAC anlæg, der ikke er helt tilstrækkeligt med bimålere, ingen koordinering med de omgivende energinet, at der ikke er anvendt eu.bac certificerede produkter.

En detaljeret beskrivelse af eu.bac auditten i Green Tech House og OU44 samt to andre bygninger kan findes i: https://www.teknologisk.dk/projekter/projekt-coordicy/41885?cms.query=coor

Smart Readiness Indicators (SRIs)

I den seneste revision af EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) som ligger til grund for energimærkningen af bygninger er der indført en frivillig mærkning af SRI (Smart Readiness Indicators).

Formålet med SRI er at øge opmærksomheden på, at god styring af en bygning kan øge dennes energieffektivitet samtidig med, at et godt indeklima opretholdes. Øget intelligens i en bygning kan desuden forberede bygningen til at kunne støtte de omkringliggende energinet ved at tilbyde energifleksibilitet, så en overgang til udelukkende vedvarende energi muliggøres.

SRI minder på mange måder om eu.bac's audit ordningen i form af tilskrivelse af point til styringen af forskellige installationer i en bygning.

SRI metoden er pt. ikke færdigudviklet. Der er gennemført to studier i EU regi. Mere information kan findes på: https://smartreadinessindicator.eu/

Smart Readiness Indicators (SRIs)

Energy savings and operation | Respond to user needs | Respond to needs of the grid

	Energy savings	Maintenance & fault prediction	Comfort	Convenience	Health & wellbeing	Information to occupants	Energy flexibility & storage
Heating			16%	10%	20%	11,4%	
Domestic hot water				10%		11,4%	
Cooling			16%	10%	20%	11,4%	
Controlled ventilation			16%	10%	20%	11,4%	
Lighting			16%	10%	20%		
Electricity				10%		11,4%	
Dynamic Envelope	5%	5%	16%	10%	20%	11,4%	
EV Charging				10%		11,4%	5%
Monitoring & Control	20%	20%	20%	20%		20%	20%

Eksempel fra SRI audit. En SRI audit udført på Green Tech House giver ca. samme score som eu.bac auditten

eu.bac og SRI

En eu.bac eller SRI audit giver som nævnt et statisk billede af intelligensen i en bygningen, og beskriver derfor mere, hvor intelligent bygningen potentielt kan være og ikke, hvor intelligent bygningen i virkeligheden er.

Hvorfor er det alligevel interessant af gennemføre en eu.bac eller SRI audit?

Fordi begge metoder, hvis udført rigtigt, kræver en grundig gennemgang af en bygnings installationer og styringen af disse. Dette vil typisk lede til, at fejl og mangler bliver opdaget. Fejl og mangler som der efterfølgende kan gøres noget ved, så bygningen kommer til at fungere mere optimalt og dermed blive mere intelligent.

TEKNOLOGISK INSTITUT

Udfordringer ved intelligent byggeri

- mange intelligente komponenter leder ikke automatisk til en intelligent bygning før de intelligente komponenter styres fornuftigt. Derfor skal gennemføres:
  - en grundig planlægning af, hvad bygningen skal kunne – også på sigt
  - en grundig udvælgelse af de rigtige komponenter
  - en velbegrundet udvælgelse af styringsstrategier
  - en fuld commissioning proces og herunder
  - en samordnet funktionsafprøvning og idriftsættelse
- for mange byggerier med gode intentioner gennemføres fravalg under opførelsen – besparelser, der typisk går ud over kvaliteten af komponenter og styringen af installationerne => hvilket leder til en mindre intelligent bygning ofte med dårligt indeklima og øget energiforbrug
- for at kunne bibeholde en fornuftige drift af en bygning, er det nødvendigt med løbende detaljerede målinger, der lagres og anvendes til performance tests, som påpeger fejl og mangler samt i visse tilfælde forudser kommende problemer
- det vigtige samspil mellem drift og brug skal sikres gennem synliggørelse og information