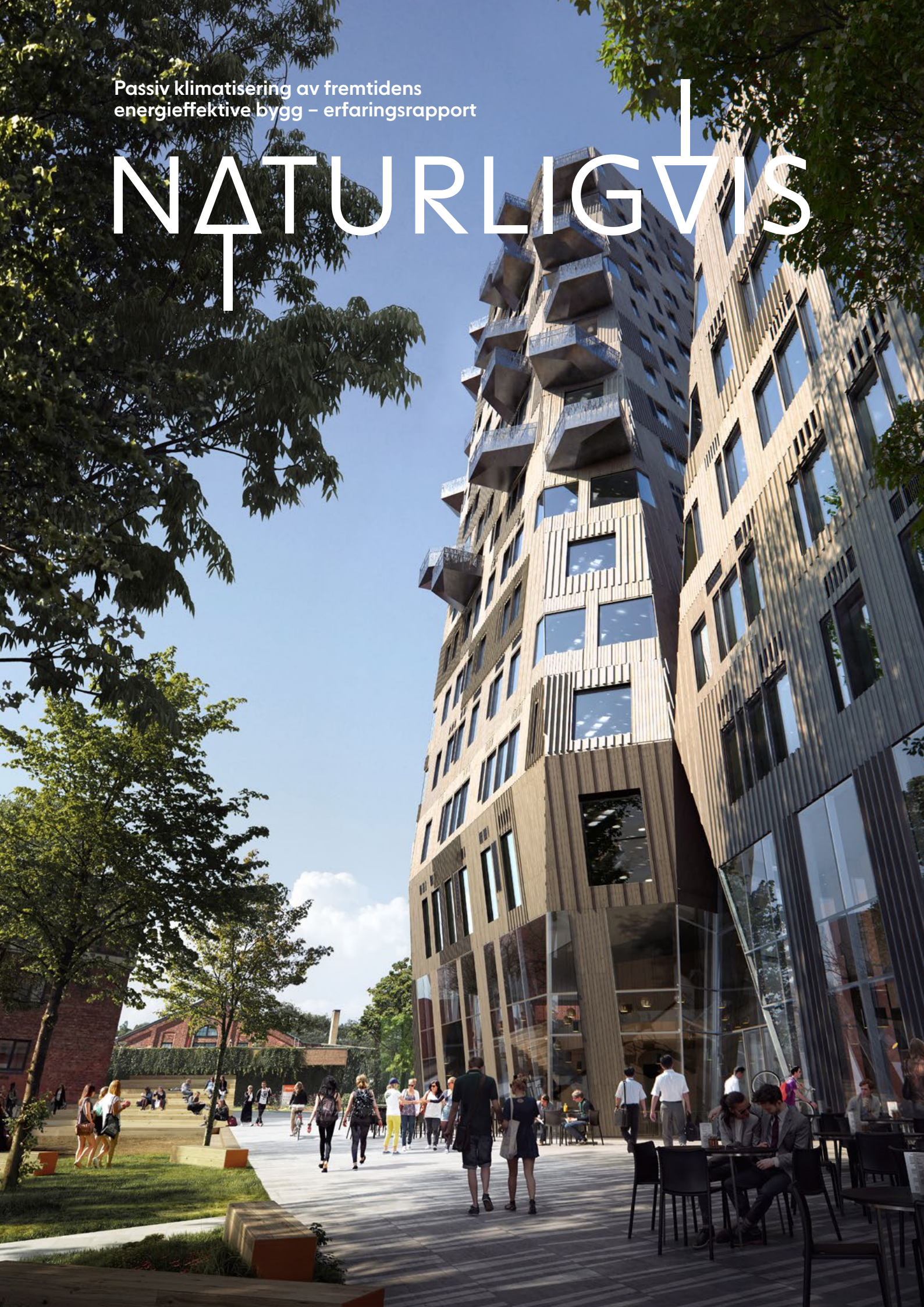


Passiv klimatisering av fremtidens
energieffektive bygg – erfaringsrapport

NATURLIGVIS



Innhold

- 4** Innledning
- 6** Ambisiøse pilotprosjekter
- 8** Arkitektur og naturlig klimatisering: Evolusjon, revolusjon, mulighet
- 14** Powerhouse Drøbak
Montessori ungdomsskole
- 20** Nydalen Vy
- 28** HouseZero
- 32** Simulering av luftstrømninger i naturlig ventilerte bygg
- 36** Avansert simulering av inneklime i lokaler med naturlig ventilasjon
- 40** Nye konsepter for akustikk og termisk masse
- 44** LowEx – høyeffektiv termisk energiforsyning i nullenergibbygg
- 46** Inneklime ved naturlig klimatisering – nytt fra forskningsfronten
- 50** Naturlig klimatisering – behov og muligheter: Tid, kunnskap og ressurser

Fakta om Naturligvis – passiv klimatisering av fremtidens energieffektive bygg

Naturligvis er et forskningsprosjekt ledet av Skanska, finansiert av Norges forskningsråd og med følgende partnere: Snøhetta, SINTEF Byggforsk, FutureBuilt, Avantor, Lindab, AJL, Rockfon, Acusto, Unicon, Brekke&Strand, Fokus Rådgivning, OPAK, WindowMaster og Erichsen&Horgen.

Målet med Naturligvis har vært å utvikle kunnskap, konsepter, teknologier og strategier for passiv klimatisering av bygninger, som samtidig skal føre til betydelig reduksjon av energibruk, lavere kostnader, høy arkitektonisk kvalitet og godt innemiljø. Prosjektet har gått over tre år, i perioden 2015-2017.

Innledning

Da vi etterlyste drømmeforelesere til FutureBuilt2014-konferansen, var det ett navn og ett prosjekt som gikk igjen; Dietmar Eberle og 2226. Vi inviterte ham, gav ham raust med tid og satte ham på scenen foran 400 forventningsfulle tilhørere. I pausen etterpå var det heftig debatt. Arkitektene var høye og begeistret og mente at nå var det endelig slutt på VVS -tyranniet. Ingeniørene lo litt av hele forestillingen og mente at dette var nok et eksempel på høytravende arkitektsvada, fine visjoner, men null substans. I hvert fall fullstendig udokumentert.

Enden på visa var at vi møttes på stedet. I Lustenau i Østerrike. På studietur i regi av FutureBuilt og Grønn Byggallianse for å prøve å skille skitt fra kanel. En gjeng nysgjerrige mennesker fra byggebransjen, en utbygger, en entreprenør, leverandører, rådgivere og arkitekter – og en journalist.

Manifest mot teknologisk overkill!

Bygget er enkelheten selv. Et kubisk volum. Vegger som består av 100 prosent luft, tegl og leire fra innerst til ytterst. Rikelig romhøyde på 3,3–4,5 meter, og ingen nedsenkede himlinger. Det trengs ikke, for bygget er ribbet for kanaler og ventilasjonsanlegg.

"2226" refererer til komfortkravet i bygget. Temperaturen skal normalt ligge mellom 22 og 26 grader. Men dette skal oppnås med enklere midler: Lys og datamaskiner er radiatorer (supplert med menneskelig varme), den tunge bygningen selv er kjøleanlegget og lufting skjer gjennom vinduene, som styres manuelt eller ved CO₂-sensorer. De tredoble passivhusvinduene sitter dypt i de 78 cm tykke veggene for å unngå både mekanisk solavskjerming og overoppheting.

Dette er ikke et passivhus etter reglene, men kanskje et passivhus i ordets egentlige forstand? All overflødig teknologi og tekniske anlegg er skrellet bort. Og dermed også anslagsvis 30 prosent av kostnadene i et normalt kontorbygg. Istedenfor er det investert i "enkelhetens luksus": generøse rom, høykvalitets materialer og gedigne konstruksjoner. Og et teknisk rom på 0,6 m² – null komma seks kvadratmeter!

Komfort uten varme, kjøling og mekanisk ventilasjon? Det er visst mulig. Men er det mulig i Norge?

Et FoU prosjekt og tre piloter senere...

Ja, mente de aller fleste som var med på turen. Avantorsjefen uttrykte sågar stor begeistring: "Dette kan vi både bygge og leie ut i Nydalen!"

Som sagt så gjort. Skanska rigget Naturligvis – med støtte fra Forskningsrådet og 14 partnere. Nå er det utredet, tegnet, simulert og regnet i store tverrfaglige grupper gjennom tre år. Og resultatet er ganske overbevisende. Ett pilotprosjekt på Harvard University i USA – House Zero, og ett i Drøbak – Drøbak Montessori ungdomsskole som også er et Powerhouse. Begge klar til innflytting våren 2018.

Og så flaggskipet da. Snart klart for første spadestik. Nydalen Vy – et kombinasjonsbygg på 18 etasjer med spektakulær arkitektur, rause rom og gedigen materialbruk, både naturlig og hybrid ventilasjon, lavtemperaturvarme og høytemperaturkjøling, nærnullenerginivå og uten behov for kjøpt energi til hverken ventilasjon, oppvarming eller kjøling. Mission accomplished. Ren magi? Les og lær!

Stein Stoknes

Programleder/faglig leder
FutureBuilt
8. februar 2018





Ambisiøse pilotprosjekter

To ambisiøse pilotprosjekter viser vei til framtidens løsninger for naturlig ventilasjon og klimatisering. Et omfattende bolig- og næringsbygg midt i byen og et skolebygg tett på naturen, begge tegnet av Snøhetta.

Prosjektdirektør i Avantor, Terje Løvold og daglig leder ved nye Montessori ungdomsskole i Drøbak, Mervi Flugsrud forteller om hva det betyr å gå i bresjen med grønn teknologi, om løsninger, ansvar og omfattende tverrfaglig samarbeid.

Tekst: Helle B. Berg

– Da det ble klart at bygget vi leide til ungdomsskole måtte kondemneres, var det åpenbart for oss at vi skulle bygge et bygg som var helt i forkant på miljøvalg. Vi ønsker å bidra til elevenes forståelse for det ansvaret vi har som institusjoner og enkeltpersoner – og forhåpentligvis også være til inspirasjon for andre, forteller Mervi Flugsrud, daglig leder ved Drøbak Montessori ungdomsskole. For å orientere seg i innovativt klimabyggeri kontaktet styreleder og stifter, Ingrid Stange, den anerkjente klimaarkitekten Michael Pawlin, mannen bak Eden Project i England, med spørsmål om hvem de burde få med seg i prosessen. Pawlins klare anbefaling var Snøhetta.

– Til alt hell, blant Snøhettas ulike gigantprosjekter rundt omkring i verden, tok de utfordringen vår: ”Hjelp oss å bygge verdens mest miljøvennlige skolebygg!” Dermed var vi i gang, sier Flugsrud.

Nye Montessori ungdomsskole i Drøbak har 60 elever fra 8. til 10. klasse og skal stå klar i første halvdel av 2018. Bygget får status som verdens første såkalte «powerhouse-skole» og blir Norges klart mest miljøvennlige skole. Det er imidlertid ingen voldsom utbygger som har initiert satsingen. Montessoristiftelsen er en liten, ikke-kommersiell organisasjon.

– Hva får en slik stiftelse til å gå i bresjen med utforsking av naturlig klimatisering?

– Drøbak Montessoriskole bygger på stifternes overbevisning om at vi alle har et ansvar for å skape det samfunnet vi

ønsker å leve i. Samtidig har vi privilegiet å basere oss på en pedagogikk som er fundert på de samme idealene som FNs bærekraftsmål: Respekt for alt liv på jorden. Disse idealene skal gjennomføres i all undervisning og alt vi gjør som institusjon. Vi skal forberede elevene på å møte den verden de skal inn i som utdannede voksne, og vi vil gjøre alt vi kan for å skape et mer bærekraftig samfunn. Gjennom klimavalgene i selve skolebygget ønsker vi å øke forståelsen for, undringen over og respekten for naturen, understreker Flugsrud.

Man kan spørre hvordan vi tør, som liten skole, å gjøre dette.

Svaret er at vi ikke tør å la være

Mervi Flugsrud, daglig leder, nye Drøbak Montessori ungdomsskole

– Man kan spørre seg om hvordan vi tør. Svaret er at vi ikke tør å la være. Klimaavtalen som ble signert i 2015 har som mål at vi skal holde oss under to grader temperaturøkning fram mot 2030. For å komme i nærheten av det, må alle krefter bidra aktivt. Ved å ta dette løftet, håper vi å inspirere andre til å gjøre det samme. Når en liten skole som vår kan få det til, da er det ingen unnskyldning for noen, påpeker Flugsrud.

Optimalisering i alle ledd

Nye Montessori ungdomsskole i Batteriveien 1 i Drøbak ligger i naturskjønne omgivelser, i åsene over Oslofjorden. Skolen er et plusskonsept, såkalt «powerhouse». Det betyr at bygget produserer mer

fornybar energi enn det bruker gjennom et livsløp på 60 år. I miljøregnskapet inkluderes energi brukt til driften samt energi brukt til å produsere og transportere byggematerialene som inngår, energi til oppføringen og til slutt også energi brukt til avhendingen av bygget. Byggets arkitektoniske utforming og fasader inngår som løsning, i likhet med nyskapende energi- og ventilasjonssystemer: To brønner på 300 meters dybde – energibrønner – benyttes til å forvarme eller kjøle ventilasjonsluft. Ventilasjonskonseptet er basert på fortrenningsventilasjon med lave lufthastigheter. Luftinntak og avtrekk gjøres i «solskiven», med tilluftskanaler til de enkelte rom. Det er benyttet eksponert betong i alle gulv, for å utjevne temperaturen gjennom døgnet.

– Realiseringen har krevd optimalisering i alle ledd, forklarer Flugsrud. – Selve energibehovet til driften av bygget skal være så lavt som mulig, og sammen med arkitektene har vi lagt vekt på gjenbruk av materialer med lav bundet energi og lave klimagassutslipp, samt tilrettelegging for arealer der skolen selv kan produsere fornybar energi.

– Hvordan gikk dere fram for å få til det hele?

– Fra første dag møttes vi i en tverrfaglig gruppe som meisle ut planene. Der satt representanter fra lærerne, elever, skolens ledelse og selvsagt hele det brede kunnskapsmiljøet som må til for å optimalisere det tekniske. Samtlige var med rundt tegnebordet fra start,

og det var meget interessant. Snøhetta organiserte og ledet prosessen med blant annet gruppearbeid, fagspesifikke møter og et fantastisk teamarbeid. Dette ledet til løsningen arkitektene kunne presentere, og som vi akkurat nå er i ferd med å realisere, sier Flugsrud.

Der den nye ungdomsskolen i Drøbak har et areal på omlag 900 m² oppvarmet areal, kommer Avantors planlagte nybygg på Gullhaug Torg 2A i Nydalen til å befinne seg på den andre enden av skalaen. Bygningsmassen skal inneholde boliger, kontorer og næring på til sammen 10.000 m² over 18 etasjer. Dette blir det første kombinasjonsbygget i Norge med naturlig klimatisering. Mens Drøbak Montessoristiftelse er en idealistisk aktør, er Avantor blant de største kommersielle utbyggerne i landet, med flere FutureBuilt-samarbeid på gang.

– Erfaringen med nye kontorbygg, skoler og leiligheter har bidratt til at vi etter hvert har reflektert rundt hvordan byggene i stadig større grad blir teknisk kompliserte både å bygge og drive. Når nye leietakere flytter inn må vi ofte bytte ut eller bygge om de tekniske anleggene. Dette oppfatter vi som lite bærekraftig både ut fra rene kostnader og for miljø og materialbruk. Med prosjektet Nydalen Vy på Gullhaug Torg 2A ønsker vi å utforske mulighetene for grønnere og mer varige løsninger, som er enklere i drift. Vi er overbevist om at over et byggs livsløp, vil forenklete tekniske anlegg og høy kvalitet på materialer gi større robusthet og fleksibilitet, forklarer prosjektdirektør Terje Løvold i Avantor.

– Ved å delta i forskningsprogrammet Naturligvis er vi med å utvikle nye løsninger som vi ser behov for, og i dette ligger også at det er nyttig for oss at Nydalen Vy kan gå inn som et pilotbygg. Vi har stor tro på at dette er tekniske løsninger som kan implementeres på andre prosjekter. Det er uinteressant å

utvikle en ny teknologi som bare kan benyttes på ett sted. Det har derfor også vært viktig å få en størrelse både på etasjene og på bygget som er relevant for mange områder og typiske prosjekter, forklarer Løvold.

– *Gullhaug Torg ligger i Nydalen langs Akerselva, i et bymessig strøk uten gjennomgangstrafikk. Har beliggenheten hatt noe å si for valgene av inneklimateknologi?*

– Luftkvaliteten i området er god og støyen håndterbar. Dette gjør det mulig å tenke løsninger basert på naturlig klimatisering. I områder med dårlig luftkvalitet kan naturlig klimatisering være mer utfordrende. I tillegg er vi opptatt av at bygget skal bli et miljømessig referansebygg som mange vil ha interesse av å se, og da er jo beliggenheten, nesten oppå en T-banestasjon, optimal, sier Løvold. Med hensyn til de faktiske løsningene har Avantor imidlertid ikke gjort det enkelt for seg selv, ettersom Nydalen Vy er et kombinasjonsbygg. De ulike funksjonene krever ulike løsninger.

Vi har tro på at dette er tekniske løsninger som kan implementeres på andre prosjekter

Terje Løvold, fagdirektør i Avantor

– Boligdelen og kontordelen vil i hovedsak benytte den samme teknologien, og vil også bidra til at varmebalansen i geo-brønnene blir god, det vil si varme- og kjølebehovet balanserer hverandre over året. For øvrig er systemene separate, sier Terje Løvold og utdyper: For næringsarealene vil det bli en blanding av horisontale og vertikale vindusfelt for klimatisering, med automatiske åpne- og lukkemekanismer basert på CO₂-følere og temperatur. For å kompensere for tapt energi vil det bli installert et

varmefordelingssystem basert på høy effektivitet gjennom varmepumper og innbygde varmeelementer. Energilagring i konstruksjoner gir ikke rom for himling, noe som også medfører innovasjon på akustiske elementer. For boliger vil det bli hybrid ventilasjon siden det kreves avtrekk fra toaletter. I tillegg benyttes en CO₂-varmepumpe for avtrekk som gir varme til tappevann slik at tapt energi gjennom avtrekk blir gjenvunnet.

– *Hvilke fordeler får byggets brukere?*

– Målet er at opplevelsen av luft og inneklimateknologi skal være minst like god som ved tradisjonelle løsninger med balansert mekanisk ventilasjon. Det er fysiologiske undersøkelser som sier at mindre temperatursvingninger er positivt, uten at dette skal føles som trekk eller være ubehagelig. Luften direkte fra fasaden vil oppleves som friskere enn om den føres gjennom ventilasjonsanlegg slik at mengden av luft som føres inn i arealene er mindre enn ved mekaniske anlegg. Andre fordeler er at ombygninger vil kunne gjøres raskere da det ikke er tekniske installasjoner som må tilpasses. I tillegg er det høyt under taket, uten store rørføringer for ventilasjonsluft, gulvvarme som forenkler rengjøring og møblering, gode arkitektoniske løsninger og høy materialkvalitet. Dessuten vil man oppleve at støv fra tekniske anlegg er tilnærmet borte.

– *Hva kan andre lære fra satsingen på Gullhaug Torg?*

– Avantor ønsker å bruke løsningene selv, i egne framtidige prosjekter. Samtidig vil vi at også andre utbyggere skal gå denne veien. Vi kommer til å dele all vår kunnskap og gjøre den tilgjengelig for alle som er interessert. Med bedre opplevelser for brukerne og reduserte kostnader vil dette være fremtiden for lignende bygg og bidra til det grønne skiftet og økt grad av bærekraft over tid, sier Terje Løvold.

Arkitektur og naturlig klimatisering: Evolusjon, revolusjon, mulighet

Et klimatiseringskonsept med en grunnleggende fleksibilitet, forutsigbare kostnader og langtidsperspektiv har skapt rom for innovasjon i fremtidens arbeidsmiljøer. Hvordan?

Tekst: Kristian Edwards, Snøhetta

Forskningsprosjektet Naturligvis har oppstått av et behov for å se på klimatisering av bygninger med nye øyne. Forskningen baserer seg på en felles målsetning om disseminering og inspisering av grunnforutsetningene for klimatisering. Ambisjonen er å skape et alternativ til mekanisk-drevne, homogene miljøer for brukerne. For mennesker.

Homogene miljøer. Stabile temperaturer, pre-aksepterte LUX-nivå, ingen blanding, dempede stemmer. Ok, vi er heldigvis fortsatt langt fra de grå båser av Metacortex, men hvor vil vi hen? Hvor er kvalitetene? Betegnes kvalitet av øresus som melder seg når arbeidsdagen er slutt og vi drar ut i den stille natt? Det føles ikke riktig, og det er kanskje det som utgjør forskjellen. Det vi føler som mennesker henger egentlig ikke sammen med de miljøer vi skaper for oss selv. Vi kan gjøre bedre.

Hva om bevegelse vekk fra klimatisk homogenitet i innemiljøer kunne føre til alternative kvaliteter og mindre fysisk homogenitet i kontorlokaler? At «fleksibilitet» som bestilling også kunne strekke seg til tekniske installasjoner ved å utelukke stor materialerstatning og containere på fortauer fylt med ubrukte kanaler og gipsplater.

Hva driver en leietagers kravspesifikasjoner om luftkvalitet, temperatur og akustikk? Med høy sannsynlighet: tidligere opplevelser. På det forrige kontoret var det alltid tett om ettermiddagen, det var trekkfylt og til tider for kjølig eller for varmt.

Det vi føler. Miljøer som stadig svikter forventningene, men hvor svaret i kravspesifikasjoner som oftest blir «mer». Mer luft, større kanaler, større eller flere aggregater, og med det; mer støy som må bearbeides, mer energi som må brukes og som må gjenvinnes, mer blendingskontroll og ikke minst mer plass som går bort til teknisk installasjoner. Det er på høy tid at vi spør oss selv – burde vi vite bedre? Hva hvis «mer» faktisk gjør oss «mer» konservative og at «mer» bidrar til et svakere, dårligere og mer fiendtlig innemiljø?

Det skulle vise seg at det ikke var bare arkitektene og rådgiverne i Naturligvis som tenkte slik – det fantes byggherrer og eiendomsforvaltere som stilte de samme spørsmålene. Er dette en riktig kurs for eiendomsdrift i fremtiden? Mer teknikk, mer kompleksitet, mer plass som går bort til aggregater, sjakter og kanaler, fasader som stenger seg når solen skinner og naturen tar seg best ut, og stadig mer kontrollsystemer. En økende andel av byggeprosjektene

budsjetter som går til teknikk som ikke tilfredsstillers. Hvor skal grensen gå?

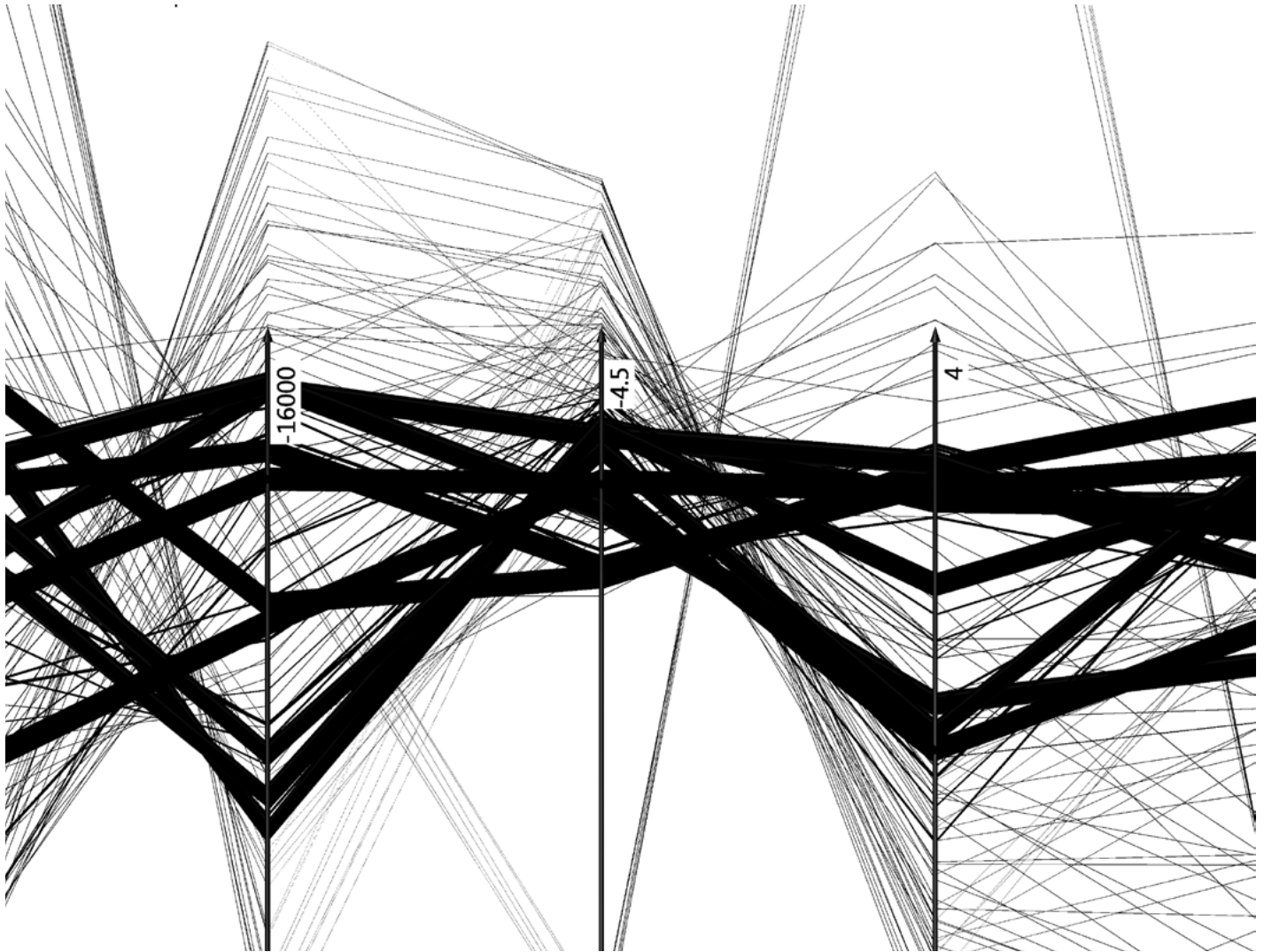
Lag på lag med kompenserende teknikk skulle vise seg å være en betenkelig oppskrift for eierne også.

Da det nærmet seg at 40 prosent av total bygningskostnad i et lavenergi (men ellers standard) kontorprosjekt skulle investeres i klimatiseringsteknikken – da var grensen nådd.

Noen år før i Østerrike hadde flere hatt lignende diskusjoner. Resultatet ble Baumschlager Eberles prosjekt "2226" i Lustenau, et bygg som har fått mye fortjent oppmerksomhet de siste årene. Et bygg som det sies ikke bruker energi til oppvarming og kjøling, og kun drives av naturlig ventilasjon. Altså et totalt passivt bygg som holder seg innenfor 22 og 26 grader året rundt. Et drømmescenario for alle parter og et potensielt veikors for ventilasjonsindustrien. Hvem kunne ta seg råd til ikke å se nærmere på dette?

Studietur ble til, og bygningen begeistret. "2226" ser verken ut som romskip eller earthship. Det er et flott stykke enkel arkitektur, med høye volumer, lyse åpne rom, flotte eksponerte materialflater og tilsynelatende ingen akustisk behandling.





Figur 1: Simulering og optimalisering med Galapagos: House Zero. III.: Snøhetta

Forskningsprosjektet Naturligvis var født. Dette konseptet skulle realiseres i Norge. Hva måtte til?

Komfortkriterier for klimatisering av bygde miljøer har et felles utgangspunkt uansett hvordan en velger å håndtere det. Forskningsarbeidet av P.O. Fanger som beskriver stasjonære komfortkriterier for mennesker i innemiljøer danner grunnlaget for moderne HVAC/VVS-teori. Det er langt fra ukjent at i likhet med mange andre parametere, kan disse kriteriene løses like bra med naturlig klimatisering som med mekaniske. I en senere artikkel beskriver Niels Lassen hvordan Fangers grunnleggende forskning nå eksamineres på nytt. Den enkle sannheten er at vitenskap aldri skal sove. Det vi kanskje naivt trodde var etablerte sannheter er modne for revisjon.

Vi er alle søkere etter eleganse, denne elegansen skal klare seg utmerket uten aggregat.

Disseminering av konseptet "2226" viste noen utfordringer for overføring av et slikt «enkelt» konsept til en pilot i Norge. Grunnleggende tall og beregninger fra prosjektet er ikke tilgjengelig så arbeidsgruppen måtte danne seg et eget bilde med en langt mer omfattende sekvens av modellering og simulering, hypoteser og konklusjoner. Dette arbeidet har hatt sine fordeler. Simuleringsmetodikkene benyttet i første dissemineringsarbeidet har utviklet seg i prosjekteringsperioden og danner nå et verktøysett som vi benytter oss av daglig i praksisen.

Triple Zero

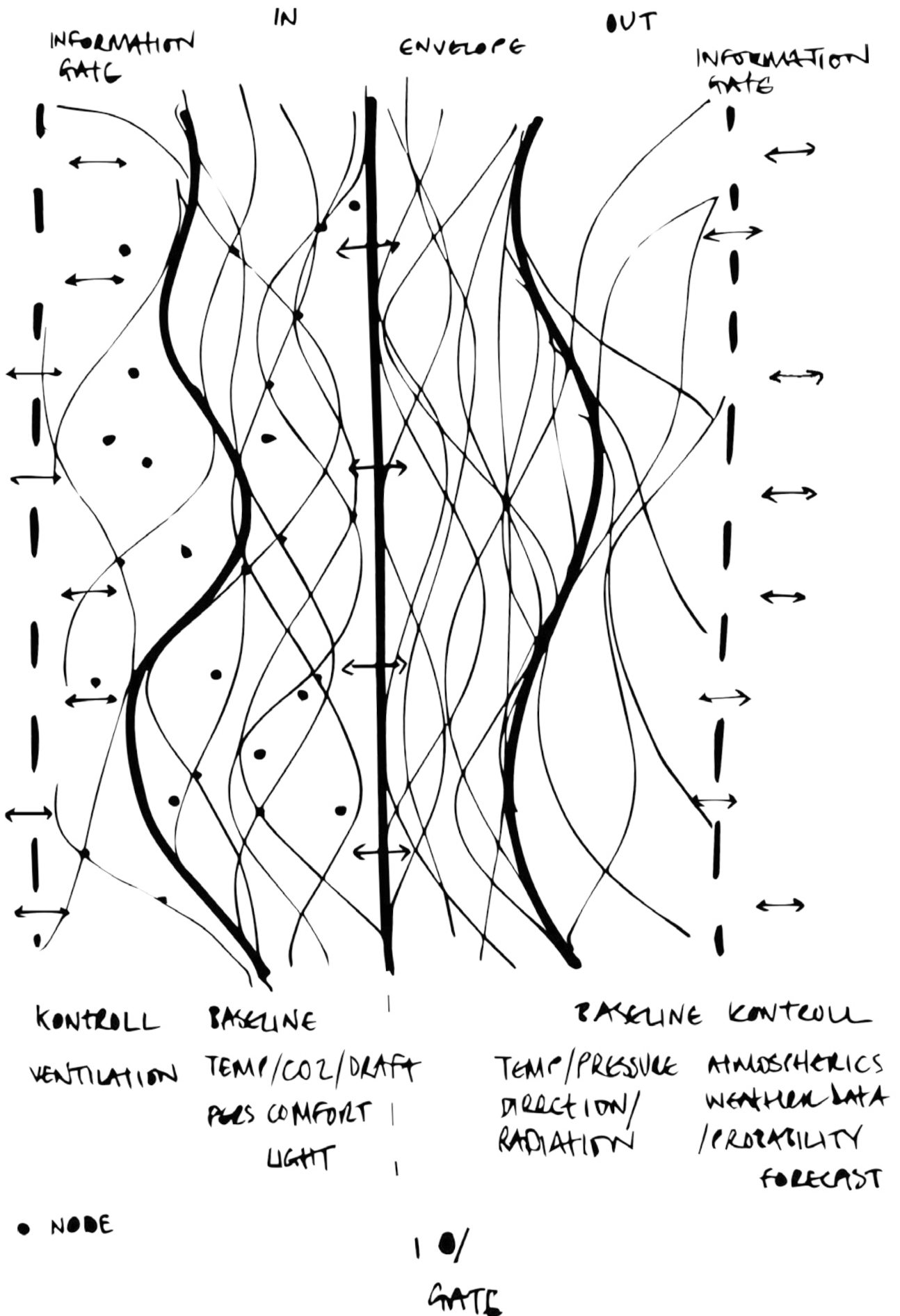
Som tidligere partnere i ZEB har mange av stakeholderne i Naturligvis påtatt seg en forpliktelse til å ta konsekvensene av ressurs- og materialbruk, bundet energi og klimagassutslipp på det største alvor. Erfaringer har vist at i mange tilfeller har energi og utslipp som går til byggematerialets livsløp et større utslippsavtrykk enn driftsenergi over samme periode. Fokus på energiforbruk

på politisk nivå har gjort mye bra for reduksjon på driftsenergi, men har hittil ikke fokusert på bundet energi og dermed utslipp som ligger tilknyttet byggematerialene. For å skape en logisk balanse må dette bli en faktor fremover. ZEB, ZEN, FutureBuilt og Powerhouse jobber mot dette målet.

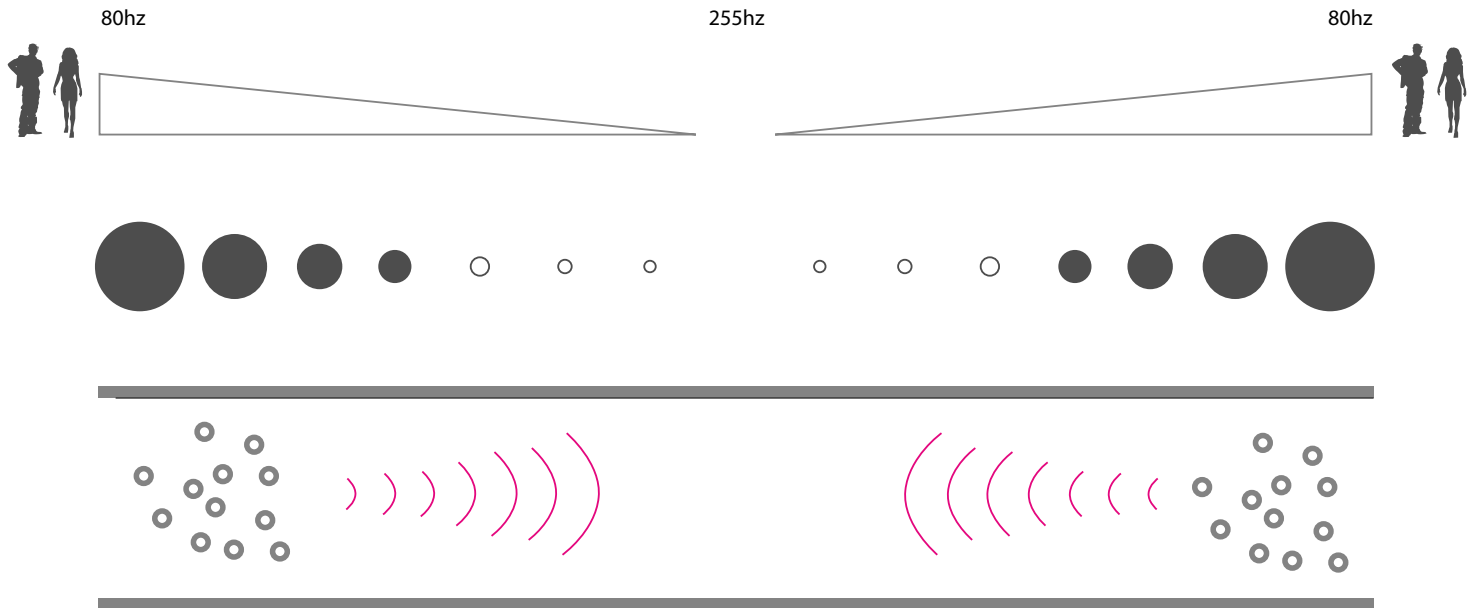
Mens mindre teknikk appellerte veldig, var et bygg som "2226" utført i tegl (og mye tegl) ikke kompatibelt med en nullutslippsholdning til materialbruk. Om metodikken skulle være bærekraftig måtte piloten være nullutslipp på alle plan i størst mulig grad. Målet om Triple-Zero ble født.

- Zero levert energi til oppvarming eller kjøling
- Zero mekanisk ventilasjon
- Zero emisjoner – nullutslipp etter ZEB skala.

Gevinsten kan bli stor. Dersom det er mulig å få til i norsk klima, kan metoden i prinsippet eksporteres til alle land med



Figur 2: Konseptskisse kontroll ved klimaskallet. III.: Snøhetta



Figur 3: Tidlig konseptskisser akustikk. III.: Snøhetta

temperert klima. En potensiell virkelighet hvor energi og materialforbruk på alle plan kan senkes på global basis uten drakoniske tiltak.

I mars 2018 ferdigstilles House Zero i Boston MA som bevis på at Naturligvis har klart å danne metode og lyktes med eksport og oversettelse til lokale bygningsstandarder.

Klimatisering handler i all hovedsak om mennesket. Naturligvis-forskning observerer samtidig menneskets forhold til inn klima, men samtidig spiller menneskets forhold til nærmiljøet og nær-økologien en vesentlig rolle.

Just another parameter

Så hva er egentlig forskjellen? Mekanisk klimatisering, naturlig klimatisering? Samme komfortnivåer og samme juridiske krav må tilfredsstilles. Naturlig klimatisering representerer et av flere alternativer. Fra et arkitektonisk ståsted er en tydelig forskjell at den samme luften som tidligere var skjult i kanalene over himlingen, nå er synlig. Kanalene og himlingsplatene fravær bidrar nå til et økt volum. Uten himling blir lyd bildet noe annerledes, men ikke ubehagelig. Kvalitet i termisk komfort, inneluften, akustikken og dermed tilfredsstillende av krav fra DiBK, Arbeidstilsynet m.fl. har vært en forutsetning for prosjektering. Det er kjørt simuleringer, og labtesting med alternative løsninger er dokumentert. Samtaler og presentasjoner er blitt gjennomført for parter som kunne ha innsigelser, og løsninger er godkjent.

Behovet for eksponert masse forutsetter at absorberer må ses på med ny vy. Eksponerte overflater må prosjekteres med særfokus, egenskaper vurderes og synergier i funksjoner overveies. Kostnadsbesparelser fra reduksjon i teknikk kan gi rom for mer stimulerende alternativer.

Know your material

Naturlig klimatisering fordrer en strategisk holdning til materialer. Selv om en ikke går steget til full livssyklusanalyse, har dette betydning. VOC, hygroskopi, termisk konduktivitet, overflatetemperatur og termisk lagringskapasitet har vært gjennomgående temaer under vurderingen av produkter. Prosjekteringsteam har med fordel adoptert en slags superposisjon. Før vi har tatt beslutninger har vi i felleskap sjekket at alle fakta er på bordet og alle synergier utforsket. I plenum kan trykke beslutninger tas. I plenum kan vi vurdere hva som kan implementeres, hvor tilfredsstillende av flere funksjoner reduserer diverse mengde-behov. Etterhvert blir en helhetlig vurdering av materialets egenskaper sett i sammenheng med klimagassutslipp en refleks-aksjon. I prosjekter som pilotene hvor det etterstrebes ZEB- og FutureBuilt-klassifiseringer, gir det ekstra motivasjon å gå i dybden på materialets oppbygging – således kan samkjøring av nullutslippsmålsettinger og bidrag til klimatiseringskonseptet belyse gjensidige fordeler. It's just another parameter.

Spatial programmering

Programmering av etasjer kan ha noe å si for fleksibilitet. Cellekontorer er begrenset i antall, og møterom plassert strategisk med noe større dimensjoner per person.

Vi søker mindre homogenitet i arbeidslandskapet, tør vi å si mer lekenhet? I pilotprosjektene har reduksjoner i kostnader for teknisk infrastruktur skapt rom for mer spesifikke og alternative løsninger. Det er skapt rom for produktutvikling og ikke minst utvikling av metoder for parametriske simulering og utforming i en effektiv arbeidsflyt som har betydning for alle disiplinenes praksis.

Arkitektur som klimatiltak

Vi erfarer at arkitekturen bidrar til vellykket naturlig klimatisering. Geometri, klimaskall, plassering av glassflater, materialer og programmering har alle betydning for klimatiseringskonseptets suksess. Med inkludering av material-forskningen, bundet energi og klimagassutslipp fra materialets livsløp ønsker vi å tro at pilotprosjektene gjør like mye for omverden som de gjør for inn klima og på en subtil måte brukernes forhold til naturen i omgivelsene.

Utfordringer og muligheter

Det er ikke alle tomter og bygninger hvor naturlig klimatisering er mulig. Støy og forurensning kan være utfordringer som gjør at det er ikke mulig. Derimot vil førende prinsippene for arkitektur som eksemplifisert i pilotprosjektene ha en positiv virkning uansett klimatiserings-

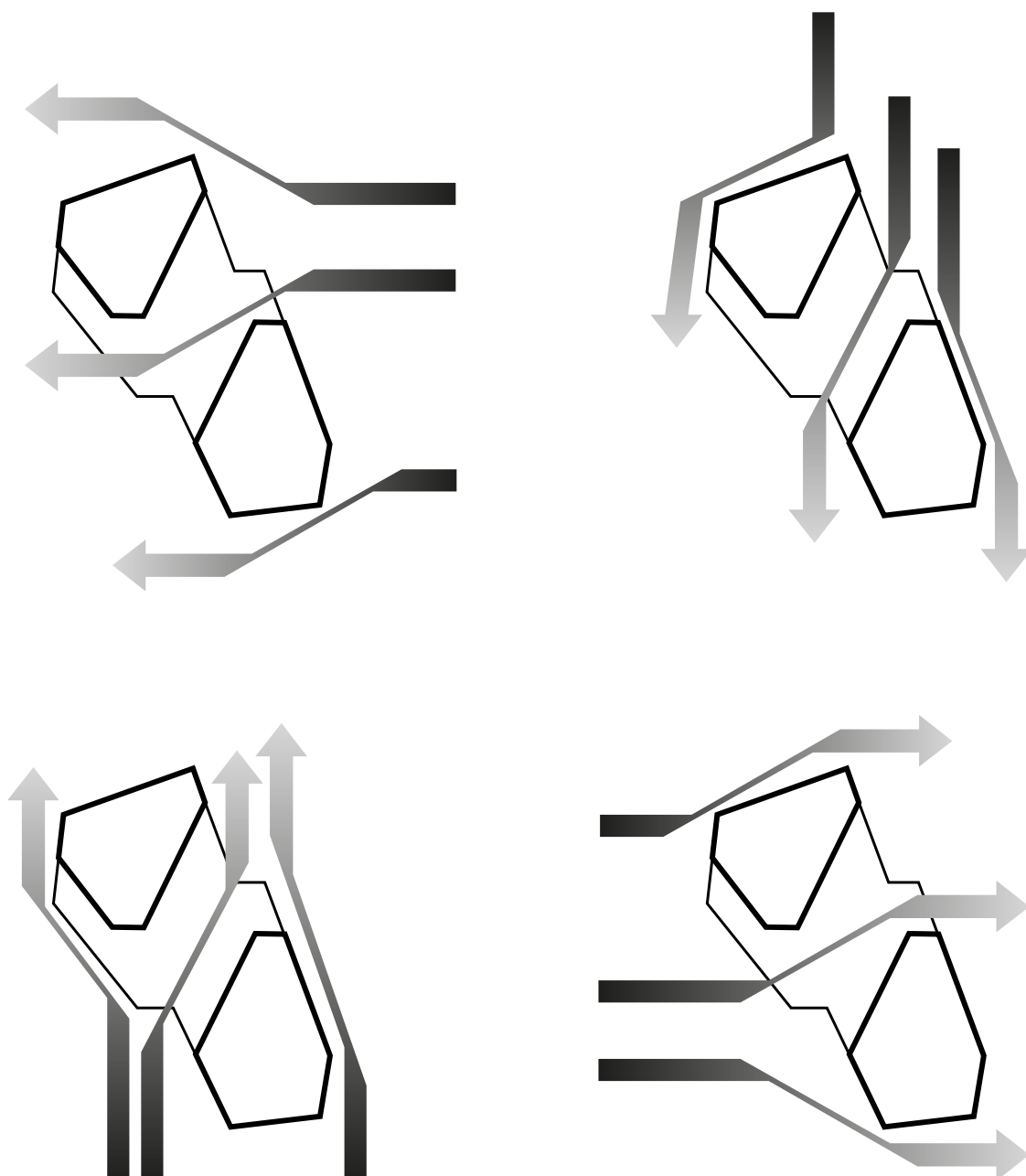
konsept; mekanisk, naturlig eller annet. Arkitekturen kan likedan projisere en fremtid hvor støy og forurensing ikke er tilstede og at naturlig ventilasjon likevel blir aktuelt. Ikke alle fremtidsvisjoner må være dystopiske!

Å skape arkitektur som benytter seg av de lokale klimatiske ressursene er positivt på mange måter: gratis tilskudd av energi til termisk behov, gode dagslysforhold og vinddrevet luftforsering. Bygninger drevet av lokalisering er kanskje essensen av fleksibilitet? Formgivning i samspill med klimaskall får en vesentlig teknisk funksjon. Klimaskallet blir dermed kontrollporten, og detaljering får

et vesentlig fokus fra et funksjonelt perspektiv. Bygningens flater får en dynamisk respons basert på eksponering til elementene som er simulert under tegnefasen.

I den lyse versjonen av en framtid, vil vi se byplanlegging eller regulering programmert ut fra respons til naturlig ressurser. Ikke bare soltilgang, men vindbevegelser og dannelse av geometri-styrte mikroklimaer og geologi. Vi vil danne bygnings- og landskapskonsepter basert på omkringliggende flora, fauna, lokale mikrober og kombinerte luftstrømninger fra andre bydeler. Utvendig klimatisering!

For alle fagdisipliner må dette være søt musikk. En fremtid bestående av ny kunnskap, nye muligheter til å revurdere faget. Naturligvis har vist at fagdisiplinene kan spille i lag med høy risiko, med høy integritet og med høy kunnskap som gevinst. Rammene er noe annerledes, det bygges mer på salg av kunnskap og metode enn salg av teknikk, men verdien av produktet er det samme – noen ville argumentere større. Fokuset som må adopteres krever mer av den enkelte. Løsninger er ikke nødvendigvis universelle, men stedsspesifikke. Langt fra enkel, men enkel langt fra - søt musikk blir til symfonier.



Figur 4: Konseptskisse. III.: Snøhetta

Powerhouse Drøbak Montessori ungdomsskole

Drøbak Montessori Ungdomsskole skal bli landets mest miljøvennlige skole. Den er utformet slik at brukernes forståelse for menneskets samhörighet med naturen styrkes. Alle aspekter ved skolebygget er utformet med miljøet for øye, både bygning i seg selv, som pedagogisk verktøy og som holdningsskapende ramme om ungdomsutvikling.

Tekst:

Maria Myrup, Skanska Teknikk
Ellen Heier, Snøhetta
Niels Lassen, Skanska Teknikk

AMBISJONER OG MILJØMÅLSETTINGER

Landets første Powerhouse skolebygg

Fra første dag har målsetningen for Montessoristiftelsen vært å bygge landets mest miljøvennlige skole i Drøbak.

Den overordnede målsetningen for et Powerhouse er:

- Utfordre eksisterende byggekonvensjoner og utarbeide banebrytende konsepter
- Sette nye nasjonale og internasjonale standarder for energieffektivitet og energieffektive bygg
- Være teknologisk banebrytende

Definisjonen av et Powerhouse:

Et Powerhouse skal gjennom driftsfasen generere mer fornybar energi enn det som brukes til produksjon av byggevarer, oppføring, drift og avhending av bygget i løpet av byggets levetid.

Byggets levetid er satt til 60 år.

Energimålsetningen må ikke gå på bekostning av verken god arkitektur, godt inn klima eller andre sentrale miljøkvaliteter. Powerhouse skal tvert imot demonstrere at plussenergibygg er godt forenlig med disse kvalitetene.

Et Powerhouse-prosjekt skal kunne gjennomføres til en konkurransedyktig pris.

Powerhouse målsetningen oppnås gjennom energieffektivt bygg og fokus på materialer. Bygningens fornybare energiproduksjon kompenserer for klimagassutslippene fra hele levetiden til bygningen. Dette gjelder byggematerialer, konstruksjon, drift og produksjon, samt riving og gjenvinning.

PROSJEKTOPPLYSNINGER

Oppdragsgiver	Drøbak Montessori Stiftelse
Ambisjoner og målsettinger	Landets mest miljøvennlige skolebygg. Powerhousestandard
Konsulentteam	Snøhetta Oslo AS, Skanska Norge AS, Dr. techn. Kristoffer Apeland AS, Brekke & Strand akustikk AS, Multiconsult AS, Heiberg & Tvetter AS, Fokus Rådgiving AS, Jatak AS
Bygningstypologi	Skolebygg
Adresse	Batteriveien 1, 1443 Drøbak
Fase / Fremdrift	Byggefase/overtakelse februar 2018
Programareal	870 m ²

Arkitektur

Tomten er omkranset av vakker skog mot sør og øst. Det har vært et mål å styrke kontakten med naturen, som pedagogisk og holdningsskapende element i elevenes hverdag. Plasseringen av den rektangulære bygningskroppen nært skogbrynet åpner tomten opp

mot skogen og skaper et stort og variert uteområde med god kontakt med naturen. Undervisnings- og fellesarealer vender mot skogen, og gjennom store vinduer og glassfelt bringes naturen inn i bygget.

Utformingen springer ut av energikonseptet, Montessoriskolens pedagogikk og tomtens egenskaper i tillegg til økonomiske og reguleringsmessige rammer. Arkitekturen er tenkt som et sosialt og pedagogisk redskap, oppbygd rundt powerhousekonseptet som det sentrale formgivende elementet.

Passive tiltak, som et kompakt bygningsvolum og gode U-verdier, minimerer energibehovet.

Bygningskroppen gjennomskjæres av en skråstilt skive; «solskiven». Denne inneholder de «aktive» elementene som er nødvendig for å oppnå Powerhouse-målsetningen, slik som solcellepaneler og diverse tekniske føringer. Solskiven er byggets hjerte og lunger – den produserer energi, den henter ren luft inn og fører avtrekksluft til varmegjenvinning eller ut, og den sørger for akustisk demping og belysning i fellesarealene. For å oppnå maksimal effekt av solcellene orienteres solskiven mot sør med en helning på 33°. Vinkelen sammenfaller med helning på trapp og amfi. Solskiven skaper dermed også sosiale og pedagogiske arenær i form av utvendige og innvendige



Figur 1: . Ill.: Snøhetta/Bloom

amfier og trapper som er styrende for skolens romlige organisering og logikk. Den danner et naturlig overbygget inngangsparti og er en tydelig veiviser og identitet for bygget.

Skolebygget er dimensjonert for 80 elever fra 7. til 10. trinn.

Montessoripedagogikken vektlegger elevens selvbestemmelse og ansvar for egen læring i stor grad, noe som medfører en høy grad av individuell tilpasning til den enkelte elev. Dette fordrer fleksibilitet hvilket gjenspeiles i skolens planløsning og utforming. Planløsningen er basert på fleksible løsninger, med rom som er tenkt til flerbruk og mulighet for variasjon i åpenhet mellom rommene etter behov. Foldevegger mellom undervisningsrommene og mellom undervisningsrom og fellesarealer gir mange muligheter.

Undervisnings- og arbeidsrom har også mulighet for brukerstyrt naturlig ventilasjon med vinduer som kan åpnes. Klasserom og større arbeidsrom er plassert i byggets hjørner og har fasade i to himmelretninger. Det er åpningsbare vinduer på begge fasadene i disse rommene, plassert med så stor avstand som mulig for å muliggjøre kryssventilering.

Trærne i skogen rett utenfor vinduene sørger for naturlig solavskjerming, mest i



Figur 2: Situasjonsplan

TABELL 1. SENTRALE INNDATA FOR BYGGET	
Komponent	Verdi
U-verdi yttervegg	0,14 W/m ² K
U-verdi yttervegg under bakken	0,15 W/m ² K
U-verdi yttertak	0,09 W/m ² K
U-verdi gulv på grunn (ekvivalent verdi)	0,10 W/m ² K
U-verdi vinduer	0,75 W/m ² K
g-verdi vindusruter	0,07-0,50
Normalisert kuldebroverdi	0,03 W/m ² K
Lekkasjetall (målt)	0,43 oms/t
Normalisert varmekapasitet	81 Wh/m ² K

sommerhalvåret når trærne er løvkledt. Vinduene er i tillegg utstyrt med utvendig solavskjerming (screens).

Solskiven er spilekledt med 30 prosent åpningsgrad og sørger for akustisk demping i fellesarealene. I øvrige rom er det akustisk demping i himling med treullittplater. Panel med spalter på innside yttervegg gir god demping for lavere frekvenser og utfyller himlingens svakheter.

Den bærende konstruksjonen i bygningskroppen er bindingsverk i tre, med stålførsterkninger ved lengre spenn. Eksponerte limtretragere i dekker og tak. Solskiven bæres av en limtrekonstruksjon med stedvis stor utkraging og lange spenn. Solskiven og bygningskroppen virker sammen og stabiliserer hverandre. Bygget har utstrakt bruk av tre både i konstruksjon og overflater. Det har

vært viktig å finne tresorter med lang holdbarhet (min. 60 år), som ikke inneholder eller er behandlet med giftstoffer. For å understreke lesbarheten av solskiven som sammenhengende element falt valget på termofuru som er giftfri, svært holdbar og kan brukes både på amfi/trapp, vegg, tak og himling, utvendig og innvendig. Ny termofuru er brun, men over tid får den en fin sølvgrå patina. Fasadene har stående kledning, mens solskiven har horisontal spilekledning. Spilekledningen på solskiven tillater tilluft, avtrekk, luftinntak og avkast, samt akustisk demping og integrert LED-belysning. Innside yttervegg er panel med voksbehandlet furupanel, og utvalgte vegger er kledd med voksbehandlet furufiner. Øvrige innervegger er malt gips. Gulvene er betong med 80 mm påstøp som sørger for termisk treghet, mens det er hvit treullitt mellom eksponerte dragere i himlinger.

Energieffektivitet

Bygget skal bli det første ferdigstilte Powerhouse skolebygg og landets mest miljøvennlige skole. Byggets utforming er begrunnet i energikonseptet og målet om Powerhouse. Bygningen har en kompakt rektangulær form orientert sørøst – nordvest. Denne gjennomskjæres av «solskiven», som heller 33° mot sør. Bygningskroppen er prosjektert med henblikk på å trenge minimalt med energi til oppføring og drift, og er derfor så kompakt som mulig innenfor de gitte rammer. Sentrale inndata for bygget er listet i tabell 1. Ventilasjonskonseptet legger opp til et system med ekstremt lave trykkfall

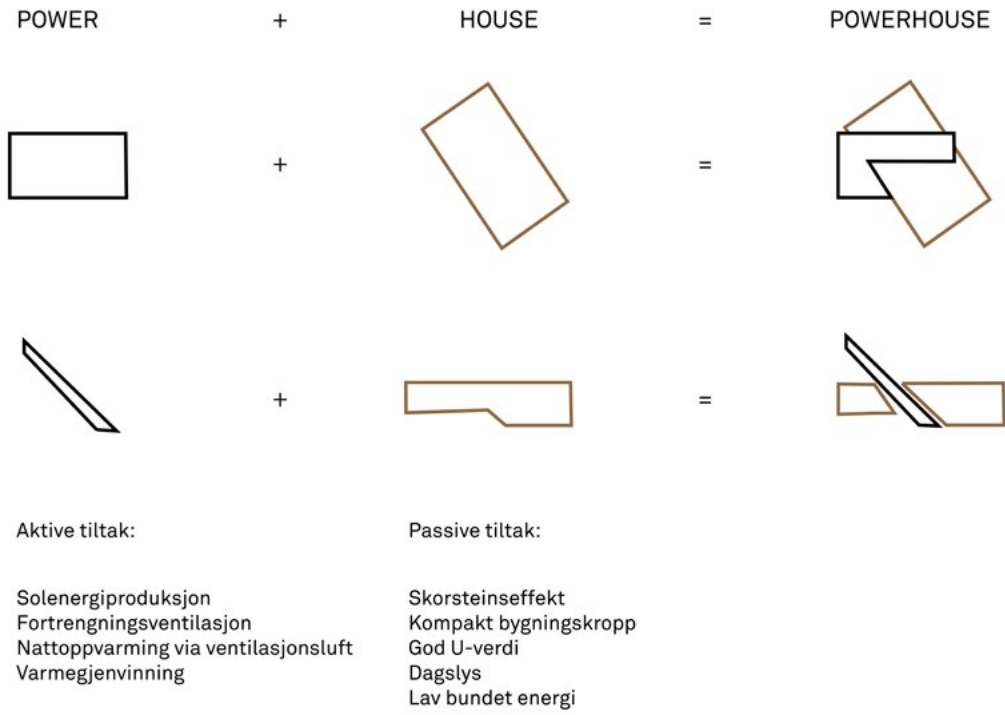
over komponenter og i føringsveier. Luften tilføres diffust via gulvstående fortrenningsdon. Luften vil strømme inn i rommene ved fortrenningsprinsippet, som gir høy ventilasjonseffektivitet og trenger lave trykk sammenlignet med omrøringsventilasjon. Alle rom har stor takhøyde for å sikre en deling mellom den «brukte» luften som vil befinne seg i de øvre deler av rommet og gi plass til den kjøligere friske og rene luften i høyder der mennesker oppholder seg. Planløsningen er organisert slik at friskluft tilføres diffust i soner med høy prioritet (klasserom/cellekontor), som har overtrykk. Deretter siver luften via lyd-dempede overstrømningsventiler ut i soner med lavere prioritet (korridor/allrom). Avtrekk skjer via toaletter, kjøkken og sentralt avtrekk i 1. etasje over amfiet. Her er også åpningsbare luker for naturlig avtrekk når det ikke er behov for varmegjenvinning.

Pga. den svært godt isolerte og lufttette klimaskjermen er oppvarmingsbehovet særdeles lavt. Dette kan utnyttes til å forenkle oppvarmingssystemet. For Powerhouse Drøbak Montessori ungdomsskole er det valgt å fjerne det konvensjonelle oppvarmingssystemet helt og benytte ventilasjonsanlegget til oppvarming.

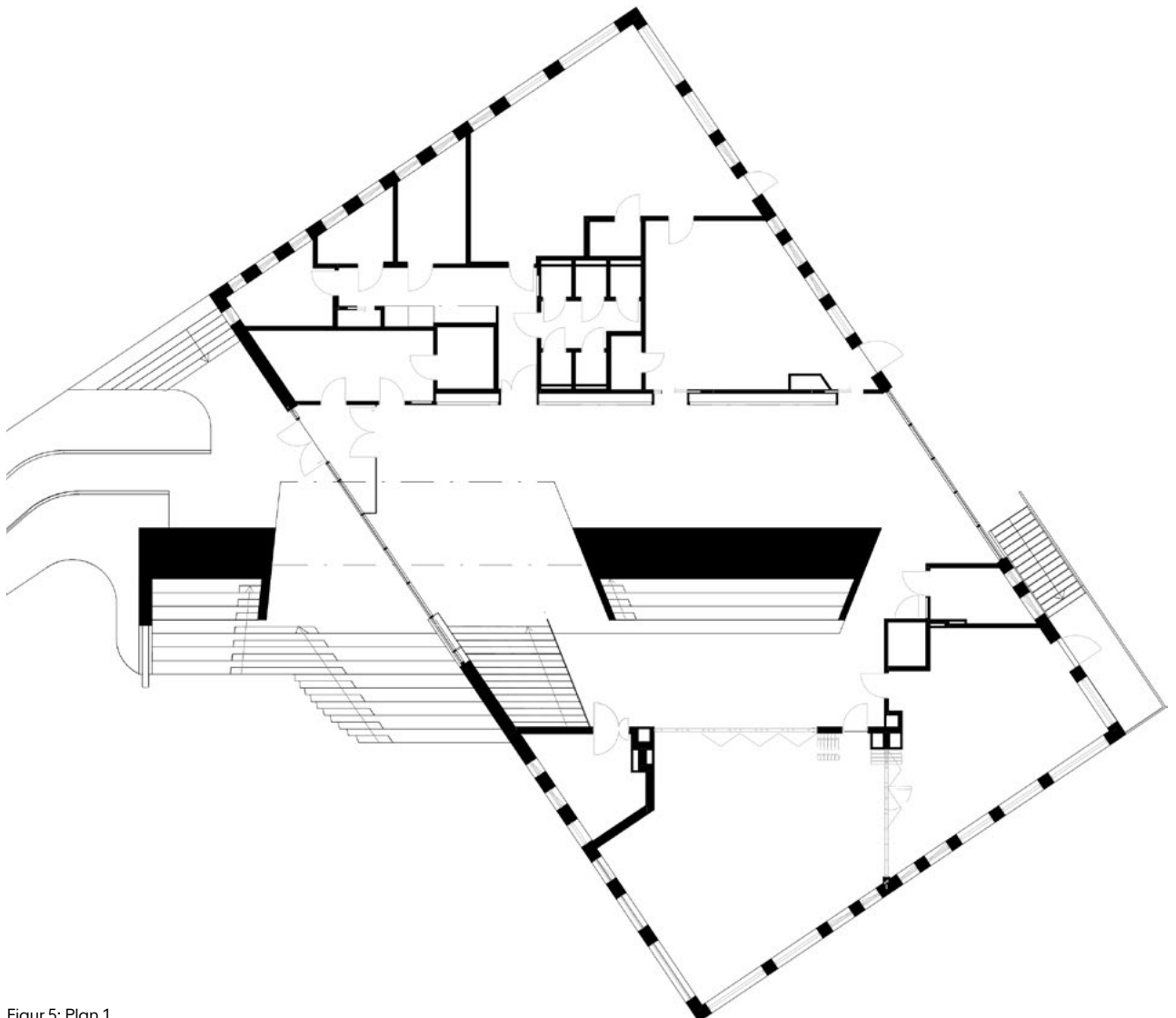
All oppvarming og kjøling av bygget vil derfor utelukkende foregå via ventilasjon. Fordi prinsippet for fortrenningsventilasjon forutsetter at luften tilføres med undertemperatur, legges det opp til at oppvarming via ventilasjonssystemet kun skjer utenom driftstiden. Denne løsningen



Figur 3: Fassade mot sør-vest



Figur 4: Konseptdiagram



Figur 5: Plan 1

TABELL 2. ENERGIBUDSJETT FOR DRØBAK MONTESSORI UNGDOMSSKOLE

Energipost	Spesifikt energibehov	Energibehov
1a Romoppvarming	0,0 kWh/m ²	0 kWh
1b Ventilasjonsvarme	18,7 kWh/m ²	16 568 kWh
2 Varmtvann	3,2 kWh/m ²	2 835 kWh
3a Vifter	3,7 kWh/m ²	3 278 kWh
3b Pumper	1,0 kWh/m ²	886 kWh
4 Belysning	6,6 kWh/m ²	5 848 kWh
5 Teknisk utstyr	13,0 kWh/m ²	11 518 kWh
6a Romkjøling	0,0 kWh/m ²	0 kWh
6b Ventilasjonskjøling	1,8 kWh/m ²	1 595 kWh
Totalt netto energibehov, sum 1-6	48,0 kWh/m ²	42 528 kWh

er ikke benyttet på bygg med fortreningsventilasjon tidligere og stiller spesielle krav til ventilasjonssystem og styringssystemet.

Oppvarmingsystemet for Powerhouse Drøbak Montessori ungdomsskole bygger på følgende løsninger:

- I arbeidstid: I arbeidstiden reguleres ventilasjonsluftmengden for de enkelte rom via VAV spjeld ut ifra CO₂ og temperatur for de enkelte rom/soner. Tilluftstemperaturen utekompenseres.
- Nattoppvarming: Anlegget driftes i oppvarmingsfunksjon utenom normal driftstid etter behov basert på målt/registrert romluftstemperatur i bygget samt utetemperatur. Som signal for oppvarming benyttes målt temperatur for de enkelte rommene/sonene i bygget. Når respektive rom når sitt settpunkt for oppvarming, reguleres luftmengden her ned til et minimum, slik at oppvarming sikres tilført der hvor det er behov. I oppvarmingsmodus utekompenseres tilluftstemperaturen.
- Frikjøling: Anlegget driftes i frikjølingsfunksjon utenom normal driftstid i forhold til målt/registrert romluftstemperatur i bygget samt

utetemperatur. Når respektive følere når sitt settpunkt, reguleres luftmengden ned til minimum slik at kjølekapasiteten sikres tilført der hvor det er behov. Frikjøling på natten gjøres utelukkende via uteluft.

- Systemet vil trolig gi god fordeling av varme for alle arbeidsplasser ettersom denne tilføres/akkumuleres i betonggulvet. Dette er imidlertid en av de største usikkerhetene ved systemet, siden den største mengden av varmen vil avsettes i himling som «omvendt fortrenning», og Powerhouse Drøbak Montessori ungdomsskole har hoveddelen av den termiske massen i gulvet.
- Aggregatet styrer luftvindu i toppen av atriet. Ved redusert gjenvinningsbehov åpnes vindu i atriet for å redusere avtrekksmengden før gjenvinner reguleres ned. Dette sparer vifteenergi i sommerhalvåret.

Energiforsyning

Energisystemene (varme, ventilasjon, kjøling og belysning) planlegges med fokus på at det kun skal brukes energi når det er reelt behov, samtidig som antall sensorer og styringsenheter forsøkes begrenset til et minimum. Ved hjelp av sensorer måles

tilstedeværelse, dagslysforhold og temperatur der det er hensiktsmessig, og systemene styres slik at luftmengde, lys og temperatur er mest mulig i samsvar med faktiske behov.

Solskiven inneholder noen av de viktige tekniske installasjoner for bygget; solcellepaneler og tekniske føringer. Hovedinntak og avkast for ventilasjon er plassert i solskiven og fungerer som en skorstein for avkastluften. Solcelleanlegget på solskiven er på ca. 150 m² og vil ha en installert effekt på 30 kWp ved normaliserte forhold. Estimert produksjon ved et normalår fra solcellene er på 32 870 kWh pr. år.

Termisk energi hentes via to energibrønner à 300 meter, der det sirkuleres væske i lukket krets. Den tempererte væsken utnyttes direkte til frikjøling sommerstid, og til produksjon av lavtemperatur varme vinterstid via varmepumpesystemet.

Varmepumpen dimensjoneres for å dekke ca. 98 prosent av oppvarmingsbehovet og ca. 95 prosent av tappevannsbehovet over året, resterende energibehov (spisslast) dekkes via elektrokjel. Ut ifra dette er størrelsen av varmepumpen beregnet til 12 kW, dette vil gi en effektdekning på ca. 80 prosent. Varmefaktor i

TABELL 3. LEVERT ENERGI FOR DRØBAK MONTESSORI UNGDOMSSKOLE

Energipost	Spesifikt levert energi	Levert energi
Vifter og pumper	4,7 kWh/m ²	4 164 kWh
Lys	6,6 kWh/m ²	5 848 kWh
Utstyr	13,0 kWh/m ²	11 518 kWh
Varmepumpesystem	3,0 kWh/m ²	2 655 kWh
Elkjel	3,7 kWh/m ²	3 239 kWh
Kjøling	0,0 kWh/m ²	32 kWh
Sum levert energi	31,0 kWh/m ²	27 456 kWh
Sum levert energi, ekskl. utstyr	18,0 kWh/m ²	15 938 kWh

TABELL 4. BUNDET ENERGI TIL MATERIALER (PRIMÆRENERGI).

Post	Verdi
Solcellepaneler	5,6 kWh/m ² år
Materialer i bygget	25,9 kWh/m ² år
Transport av materialer	5,9 kWh/m ² år
Energi til oppføring	4,7 kWh/m ² år
Avhending	3,2 kWh/m ² år
Total	45,3 kWh/m ² år

TABELL 5. POWERHOUSE REGNSKAP FOR DRØBAK MONTESSORI UNGDOMSSKOLE

Energipost	Verdi
Kraftproduksjon solceller	104,1 kWh/m ² år
Bundet energi	-45,3 kWh/m ² år
Energibruk i drift	-45,0 kWh/m ² år
Sum energibalanse over levetiden	13,7 kWh/m ² år



Fra byggeplass

oppvarmingssesongen (SCOP) for oppvarming er estimert til 5,5 og for varmtvann 4,5. For optimal drift av varmepumpen benyttes varmepumpe med inverterstyring og utekompensering.

Energi-og miljøregnskap

Energibudsjettet for bygget samt levert energi er vist i tabell 2 og tabell 3. Levert energi i drift eksklusiv utstyr er beregnet til 18,0 kWh/m² år. Med en primærenergifaktor på 2,5 gir dette primærenergi i drift på 45,0 kWh/m² år. Det er utarbeidet et eget notat for analyse av bundet energi til materialer for Drøbak Montessori ungdomsskole (Buijs og Fjeldheim, Skanska). Bundet energi til materialer (primærenergi) er gitt i tabell 4. Tallene er midlet over levetiden på 60 år.

Powerhouseregnskapet for skolen er vist i tabell 5, og samholder solstrømproduksjon, energibruk i drift og bundet energi som primærenergi beregnet som snitt over 60 års levetid. Bygget går i pluss, og oppfyller dermed Powerhouse med en ganske god margin,

Erfaringer

Byggets energistrategi baserer seg på lavt varmetap, en innovativ og energieffektiv klimatiseringsløsning, energieffektive installasjoner, innovativ og høyeffektiv bergvarmepumpe for oppvarming og kjøling og produksjon av fornybar elektrisitet ved hjelp av solceller. Å kombinere ekstrem energiytelse med godt innemiljø, lav miljøbelastning og robuste løsninger på kommersielle vilkår, krever en annen tilnærming enn i tradisjonelle byggeprosjekt. Nøkkelen til å lykkes ligger i integrerte, helhetlige løsninger. Dette krever samhandling, spisskompetanse og helhetstenking fra tidlig fase i prosjektet.

Planløsningene for Powerhouse Drøbak Montessori Ungdomsskole tar sikte på å gjøre det enkelt å dele inn i hensiktsmessige ventilasjonssoner og utnytte overstrømning fra mer forurensede soner til mindre forurensede. Dette reduserer det totale ventilasjonsbehovet, og dermed behovet for energi. Sammen med prosjekteringsgruppen har byggherren lagt vekt på fleksibilitet, generalitet og sambruk av lokalene. Disse valgene fører til lavere plassbehov, lavere energibehov, samt mildere tekniske krav til bygget og reduserer dermed miljøpåvirkningen fra skolen betraktelig.

Foldevegger og åpne kjerneareal sørger for stor fleksibilitet og arealeffektivitet. Ventilasjonsprinsippet er tilpasset dette og er planlagt for å være mest mulig robust og tilpasningsdyktig.

Eksempler på generalitet og sambruk av lokalene er:

- Klasserom og amfi i 1. etasje har foldevegger slik at disse kan sambrukes i flere ulike scenario
- Tyngre maskiner og utstyr i forbindelse med håndarbeid er plassert utendørs under tak for å redusere krav til støyisolasjon og branniltak
- Enkelte støvende håndarbeidsaktiviteter er planlagt som utendørs undervisning for å redusere behov for utstyr, avtrekk og plass innendørs.

Kort oppsummert kombinerer løsningen et høyeffektivt ventilasjonssystem basert på fortregningsventilasjon, med lavtemperatur ventilasjonsvarme via varmepumpe. Powerhouse Drøbak Montessori ungdomsskole vil trolig bli det første skolebygget i verden med denne typen oppvarmingsystem. Driftserfaringene vil derfor være av svært stor interesse og ha stor spredningseffekt.

Nydalen Vy

Parkeringsplassen på Gullhaug torg skal bort, og Nydalen skal få et praktbygg utenom det vanlige. Nydalen Vy skal inneholde både boliger, kontorer og næring på til sammen 10.000 m². Prosjektet tar i bruk nyskapende miljøteknologi og blir det første kombinasjonsbygget i Norge med naturlig klimatisering.

Tekst:

Tine Hegli, Snøhetta
Tor Helge Dokka, Skanska Teknikk
Maria Myrup, Skanska Teknikk

ARKITEKTUR

Nydalen og Gullhaug torg

Nydalen ble etablert som industriområde rundt midten av 1800-tallet. Kraften i vannmassene i Akerselva ga grunnlag for etablering av blant annet spinnerier, veverier, jern- og spikerverk, og det vokste frem en levende bydel med boliger, service- og velferdstilbud. I dag forteller stolte mursteinsbygninger langs elvebreddene om historien, mens elveløpet er gjenåpnet og breddene tilrettelagt for rekreasjon og ferdsel.

I dag bor, jobber og studerer det rundt 30 000 mennesker i Nydalen som utgjør sentrum i bydelen Nordre Aker. Skalaen og tettheten i bebyggelsesstrukturen fra tiden som industriområde har utviklet seg til et bymessig gatemiljø, mens de rause grøntområdene som følger Akerselva byr på rikelig med lys, luft og naturopplevelser. Disse unike kvalitetene danner utgangspunkt for utformingen av prosjektet Nydalen Vy ved nordenden av Gullhaug torg og for den videre utviklingen av byrom, arkitektur og landskap i Nydalsutviklingen sett i et større perspektiv. Gullhaug torg skal bli bydelens viktigste offentlige rom og sentrale samlingspunkt. Torget skal ivareta de ulike brukergruppernes behov og gi mulighet for opphold, opplevelser og bevegelser gjennom alle sesonger og til alle tider

av døgnet. Akerselva gjøres igjen til det attraktive og sentrale elementet ved at torgarealene opparbeides både på øst- og vestsiden av elveløpet og inkluderer brua som del av plassen. Nydalen Vy, på tomten Gullhaug torg 2A, er orientert og utformet for å la folk oppleve kontakt med elverommet, skape gode sol- og vindforhold for opphold på bakkeplanet samt styrke viktige forbindelseslinjer mellom ulike byrom og servicefunksjoner i området.

Som forbildeprosjekt i FutureBuilt vil Gullhaug torg som offentlig uterom og nybygget Nydalen Vy demonstrere fremtidens løsninger innen grønn mobilitet og tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra transport. Avantor legger opp til at all trafikkøkning i Nydalen fremover skal komme fra sykkel, gange og kollektivtrafikk og har utviklet en egen masterplan for å gjøre store deler av bydelssentrumet bilfritt. Bilparkering legges til eksisterende parkeringsplasser og garasjeanlegg i randsonene for å frigi utearealer til publikumsbruk. Satsningen på sykkel som transportmiddel både for kontorarbeidsplasser og boliger krever utover tilrettelagte sykkelparkeringsarealer, støttefunksjoner som verksted, spyle- og garderobefasiliteter – funksjoner som legges til byggeprogrammet.

AMBISJONER OG MILJØMÅLSETTINGER

Pilotprosjekt i Naturligvis: Bærekraftig arkitektur- og systemdesign

Basert på bred kompetanse innen forvaltning, drift, utvikling og utleie av næringseiendom, har Avantor ønske om å sette agenda for bærekraftig arkitektur- og systemdesign med fokus på kontorarealer. Målsettingen er å finne frem til bygningsmessige konsepter og løsninger som over livsløpet bidrar til enklere drift, lavere vedlikeholdskostnader, reduserer behov for utskiftninger og leietagertilpasninger og gir lengre levetid. Inneklima, rom- og materialkvaliteter, akustikk, dagslys og kontakt med utemiljøet skal sørge for at arealene er attraktive, samtidig som de utfordrer brukervaner og tankesett knyttet til komfort. Totalopplevelsen for brukeren skal bli bedre.

Pilotprosjekt i Naturligvis: TripleZero

Naturlig klimatisering av kontorarealene med mål om < 0 kWh kjøpt energi til ventilasjon, oppvarming og kjøling. Energibalanse over året oppnås ved solstrømsproduksjon på takarealene.

Forbildeprosjekt i FutureBuilt

Som bydelsutvikler har Avantor høye målsettinger når det gjelder tilrettelegging for klimavennlig transport, opparbeiding av publikumsfunksjoner og offentlige utearealer samt foretting med boliger slik at Nydalen oppleves som et fremtidsrettet, levende og bynært område til alle tider av døgnet og året. Nydalen Vy, i senter av bydelen ved Gullhaug torg, er gitt status som FutureBuilt forbildeprosjekt og det er utarbeidet et kvalitetsprogram som legger føringer for høy kvalitet i arkitektur og uterom, samt god tilrettelegging for grønne transportalternativer. I tillegg skal prosjektet klare krav om 50 prosent samlet reduksjon av klimagassutslipp fra transport, materialer og energi sammenlignet med referansebygg. Utover dette søker prosjektet å oppnå Nærnull-energinivå (FutureBuilt 2016) for totalt energiforbruk.

Miljøsertifisering

Kontor- og næringsarealer: BREEAM-NOR Excellent
Boliger: BREEAM-NOR Very Good





Figur 1: Situasjonsplan

PROSJEKTOPPLYSNINGER	
Oppdragsgiver	Avantor
Konsulentteam	Snøhetta Oslo, Skanska Norge, Erichsen&Horgen, Fokus Rådgivning, Heiberg&Tveter, Brække&Strand Akustikk, BSI/ WindowMaster, SINTEF Byggforsk, FutureBuilt
Bygningstypologi	Kombinasjonsbygg næring, kontor, bolig.
Adresse	Gullhaug torg 2A, 0484 Oslo
Fase / fremdrift	Forprosjekt avsluttet juni 2017/pågående reguleringsprosess/ planlagt ferdigstilt siste kvartal 2019
Programareal	Totalt: 10.000 m ² BRA

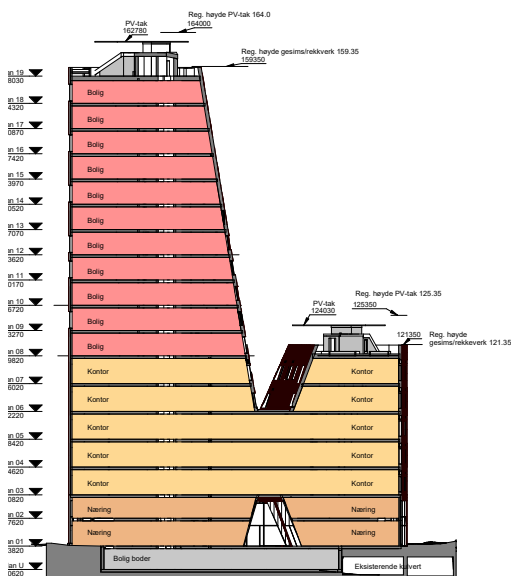
Torg, boliger, kontor og næring

Bygningskroppens form og uttrykk er et resultat av samspill mellom flere parametere, der hensynet til byplannivået og publikumsområdene på bakkeplanet har vært førende for fotavtrykk, volumoppbygging og høydebetraktninger. I tillegg til optimalisering for funksjonenes behov for dagslys og utsyn, har det tverrfaglige samarbeidet rundt klimatiseringskonseptet vært av avgjørende betydning for geometri og fasadeutforming. Sist, men ikke minst preges arkitekturen av valg knyttet til målsettingen om reduksjon i klimagassutslipp fra materialer.

Volumoppbyggingen med et høyt og et lavt tårn satt sammen med en «glassfuge» kommer både fra ønske om å ivareta siklinjer på tvers av torget, og av funksjonenes ulike behov for fasadeareal. På nivå med torget er det planlagt næringslokaler med kafé og restaurantdrift i de delene som vender

ut mot gangstrøket langs Akerselva i sørvest og torgarealet i sør. Lokalene har store rom som strekker seg over to plan med høye åpningsbare vindusfelt ut mot «solveggen» og publikumsarealene. På østsida, mot den planlagte hovedgata Nydalen allé, legges lobby for kontordelen samt felles sykkelfasiliteter. Boliginngangen med forplass legges til det nordvestre hjørnet mot grøntdraget og forplassen til det nye handels- og boligkvarteret under planlegging ved Fiskars-bygget. I «glassfugen» som fyller rommet mellom de to tårnene tilrettelegges det for en tverrgående publikumspassasje der torggulvet strekker seg uavbrutt gjennom. Passasjen tilbyr en snarvei for folk i området, samtidig som den fungerer som inngangsparti og serveringsområde for spisestedene.

De 42 planlagte boenhetene er samlet på de 12 øvre etasjene og organisert rundt en kompakt kjerne. Tårnets fasetterte og avsmalende form gir et slankt volum med mye vindusareal og

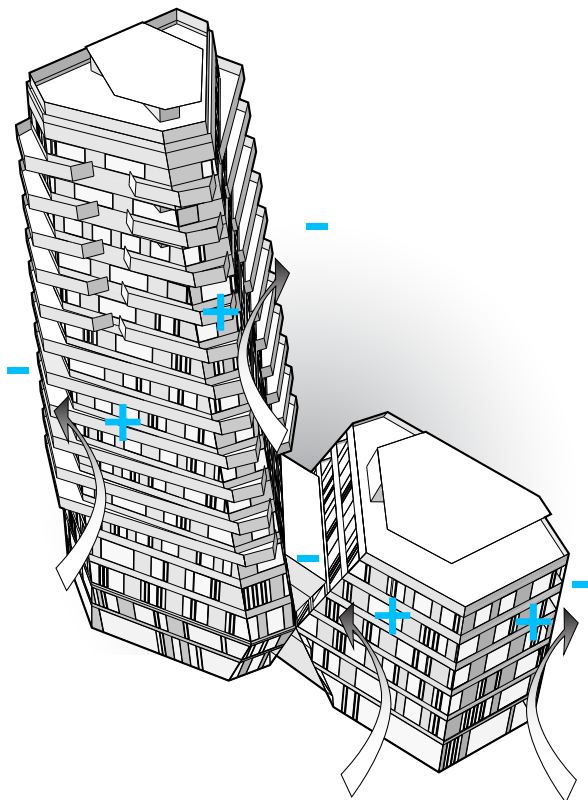


Figur 2: Snitt

gode sol- og dagslysforhold, samtidig som de nedre boligetasjene er relativt store og arealeffektive.

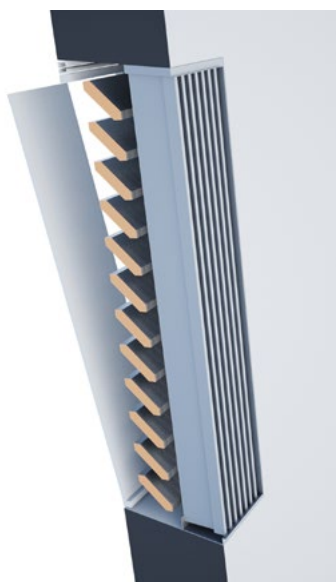
Kontordelen av programmet krever store, sammenhengende og fleksible arealer og er i all hovedsak samlet på de etasjeplanene der tårnvolumene møtes i «glassfugen». Her er dekkene sammenhengende fra nord til sør med to kommunikasjonskjerner, der hovedadkomst er via det lave sørlige tårnet. Arkitektens geometri, materialbruk og programmering er optimalisert for et klimatiseringskonsept basert på naturlig ventilasjon med automatiserte motoriserte fasadeluker

og høyeffektiv termisk energiforsyning (LowEx) støpt inn i dekkene. For å oppnå kryssventilasjon i de åpne sonene med kontorlandskap og fellesarealer kreves det et relativt smalt volum slik at utvendige trykkforskjeller rundt bygget kan utnyttes til å skape luftgjennomstrømning ved å åpne luker på motstående fasader. Lukkede volumer, som cellekontorer, legges til områder uten stor solbelastning der temperaturen holder seg mer stabil. Funksjoner som møterom, med høy tetthet av mennesker, legges til hjørner for å få to tilgjengelige fasader i rommet og sånn oppnå et effektivt luftskifte. Dette premisset har vært



Figur 3: Luftstrømninger og ventilasjonsstrategi

drivende for formgivningen og ledet til en bygningskropp med mange fasetter. For å sikre et godt og stabilt innneklima basert på naturlig klimatisering er netto etasjehøyde satt til 3,5m (brutto 3,8m). Sammen med utnyttelse av betongdekkene som termisk masse eksponert mot innelufta, bidrar volumet til å utjevne temperatursvingninger, samt gi større robusthet mot opphopning av forurenset (brukt) luft. Etasjehøyden er óg nødvendig for å kunne slippe inn kald uteluft via horisontale luker opp under dekket og la denne blande seg med den varme innelufta høyt i rommet. I soner med stor personbelastning støttes denne strategien med montering av kammer

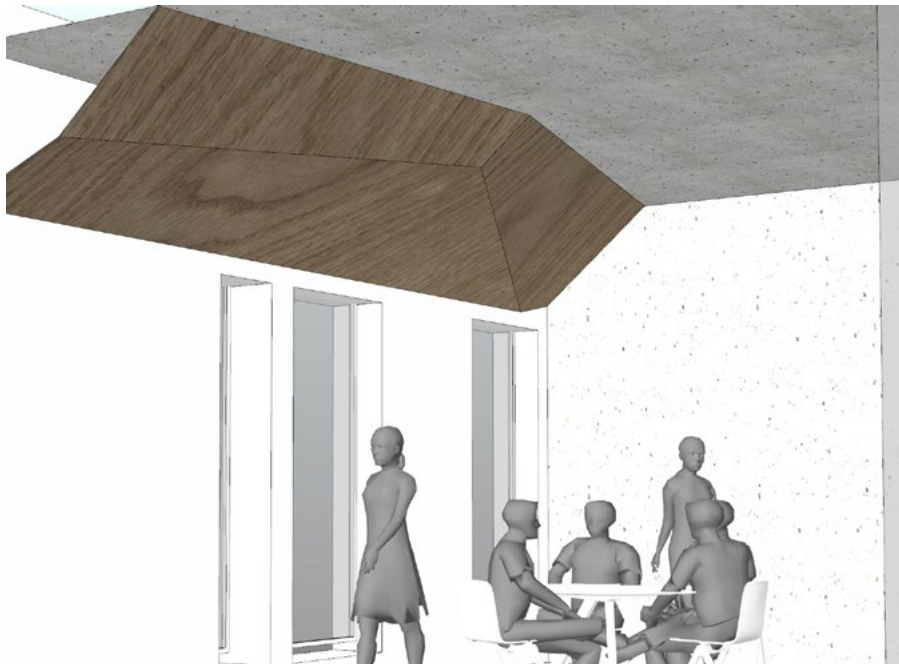


Figur 4: Fasadeluke eksteriør

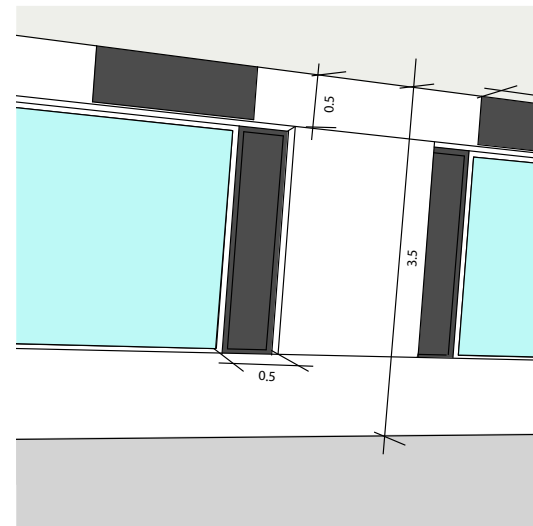


Figur 5: Fasadeluke interiør

TABELL 1. SENTRALE INNDATA FOR KONTORDEL AV BYGGET.	
Komponent	Verdi
U-verdi yttervegg	0,14 W/m ² K
U-verdi yttertak	0,12 W/m ² K
U-verdi vinduer	0,65 W/m ² K
g-verdi vindusruter	0,40
Normalisert kuldebroverdi	0,03 W/m ² K
Lekkasjetall (målsetning)	0,40 oms/t
Normalisert varmekapasitet	129 Wh/m ² K



Figur 6: Foreløpig utforming av «Klimakano» under uttesting i klimalaboratoriet ved NTNU/SINTEF i Trondheim.



Figur 8: Høysittende automatiske lufteluker og vertikalhengslete brukerstyrte vindusåpninger

som regulerer de termiske luftstrømmene. Disse er utformet i finér med perforering/spalter dimensjonert for å unngå trekkopplevelser og når lukene er i aktiv bruk vinterstid. I sommerhalvåret ønskes det et høyere luftskifte, og ventilasjonsstrategien suppleres med bruk av vertikale luker ved vinduene. Disse kan styres manuelt av brukerne og gir mulighet for individuell tilpassing.

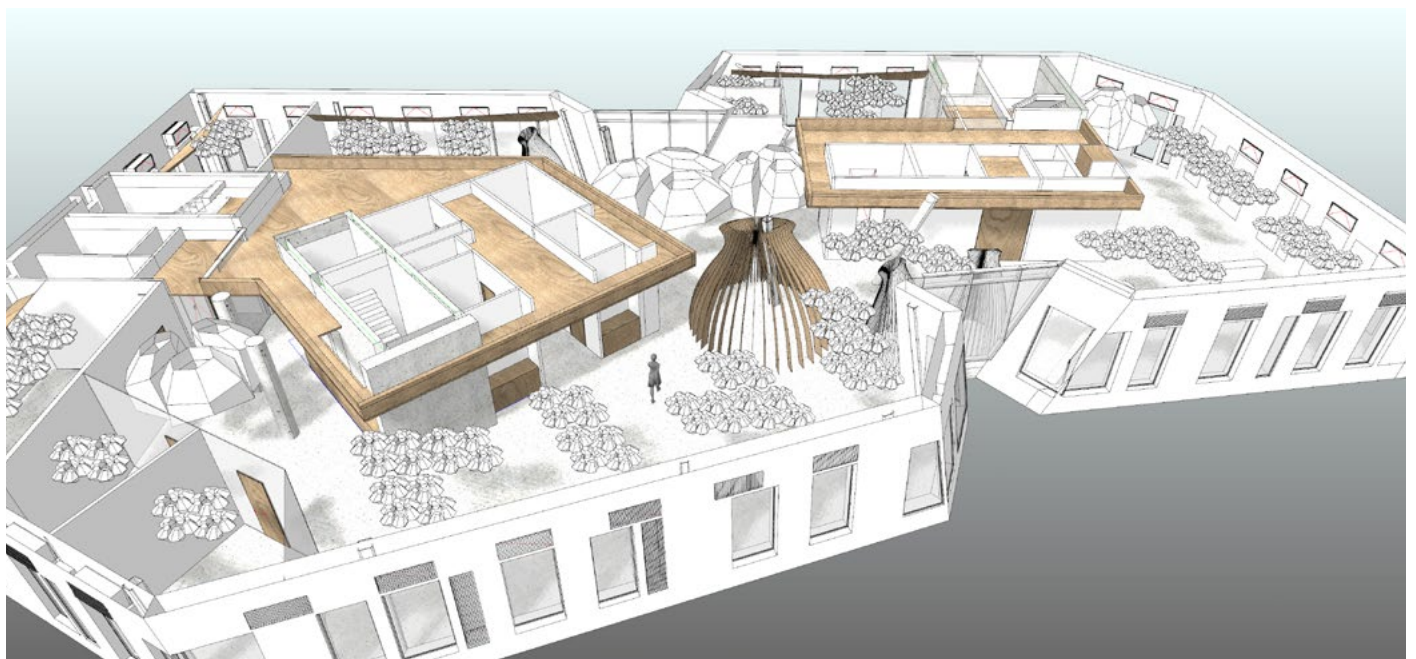
LowEx-systemet i gulvet krever at betongen er eksponert mot innelufta i arbeidssoner og møterom. Denne forutsetningen, sammen med romhøyden, de aktive fasadelukene og

fraværet av tekniske føringer, bidrar til å skape et særegent og robust interiør med stort rom for variasjon i møblering. Uten heldekkende himlingssystemer og teppegulv, er nær halvparten av veggoverflatene og himling rundt kjernearealer kledt med akustiske absorberende perforerte treplater eller trespiler. Ut over dette er det i samarbeidet mellom akustiker og arkitekt lagt opp til en strategi for montering av «akustisk rur» i soner med mye støybelastning. Disse designelementene kan enkelt monteres i underkant av dekket og tilpasses den enkelte leietagers romprogram

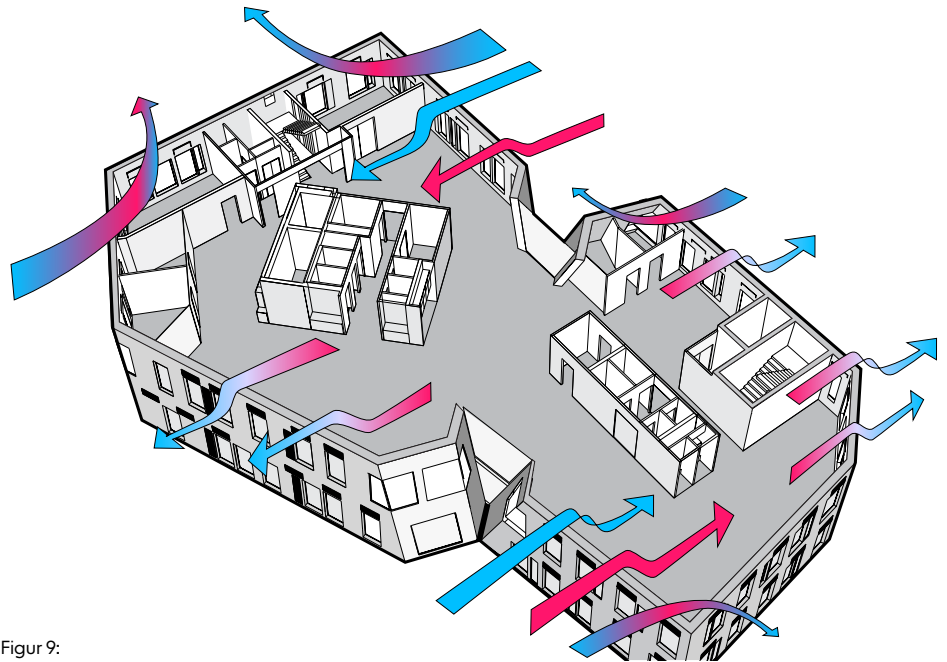
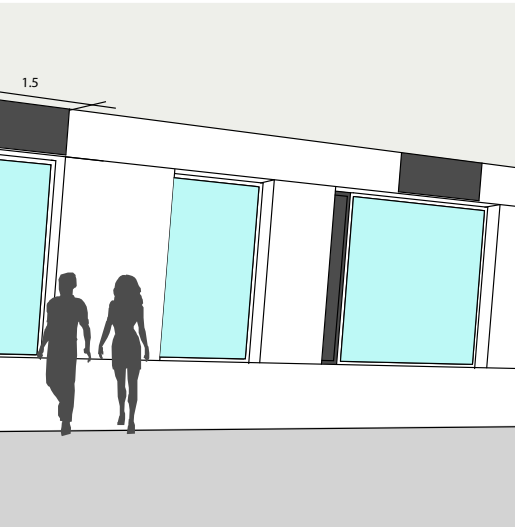
uten at det går på bekostning av klimatiseringskonseptet og behov for romhøyde og eksponert termisk masse. Her er potensialet stort for skreddersøm og produktutvikling, og resultatet er et kontormiljø med individuell og brukertilpasset karakter.

Konstruksjon, fasade og materialer

Konstruksjonsprinsippet med forspente betongdekker, betongkjerne og stålsøyler som følger fasadelivet gir fleksibilitet i programmering av arealene. I tillegg krever komplekse grunnforhold med flere eksisterende kulverter store spenn.



Figur 7: Dynamisk tilnærming til akustikk. III.: Snøhetta



Figur 9:
Konseptskisse for kryssventileringsscenarier i kontoretasjer. Ill.: Snøhetta

Klimaveggene utføres som prefabrikkerte trekonstruksjonselementer med utvendig kledning av termobehandlet og brannimpregnert trevirke. Kledningen og detaljering rundt åpninger skal kunne tåle værpåvirkning og aldri uten vedlikehold gjennom klimaveggenes levetid. Vinduer og lufteluker i boligene utføres med aluminiumskledt trekarm, mens dimensjonene for nærings- og kontordelen krever aluminiumsprofiler. Luftelukene utføres med fastmontert utvendig rist som hindrer vanninntrengning og et innvendig åpningsbart frontpanel slik at veggdybden kan utnyttes til montering av støyabsorberende elementer. Lukene kan da innfri på lydkrav til innemiljøet også i åpen tilstand til tross for beliggenhet nær trafikkstøy.

Vinduene i kontor- og boligetasjene er i all hovedsak fastfelt. Dette gir både gode bygningsfysiske egenskaper og mer dagslys. Solinnstråling håndteres av kjølesystemet i gulvene og fjerner behovet for utvendig mekanisk solavskjerming og vedlikeholdsbehovene slike systemer utgjør i et høyhus. På solbelastede fasader benyttes soldempende glass. Både kontorer og boliger innfrir BREEAM-NOR dagslyskrav og sørger for et energieffektivt belysningskonsept.

Energieffektivitet

Det er i dette avsnittet kun fokusert på kontorarealene, som har de høyeste miljøambisjonene i prosjektet og som er piloten inn i Naturligvis. Kontordelen av bygget skal ha «triple zero»-ambisjon,

dvs. energibehovet til oppvarming, kjøling og ventilering av bygget skal være meget lavt og over året balanseres av solstrømproduksjon på taket av bygget.

Byggets fasetterte form og relativt slanke volum er valgt for å kunne ventilere bygget utelukkende med naturlig ventilasjon. Den relativt slanke utformingen balanseres av godt isolerte konstruksjoner som samlet gir et lavt varmetap for bygningskroppen. Sentrale inndata for bygget er listet i tabell 1.

Det naturlige ventilasjonskonseptet er basert på automatisk motoriserte høysittende luker, som suppleres med brukerstyrte lavsittende vinduer og luker, se figur 8. De automatiske lukene er styrt ut fra CO₂-nivå og temperaturer inne, samt en utvendig værstasjon som måler vindhastighet, vindretning, utetemperatur og nedbør. Sammen med utvendige CFD-simuleringer (se essay om CFD-simuleringer) av bygget og de kontinuerlige målingene beregnes hvilke luker og hvor mye de skal åpnes ut fra avanserte modeller og algoritmer. Disse modellene og algoritmene er basert på systemet NV Advance fra Windowmaster. Det er valgt å ventilere hver etasje separat via primært ensidig vindusventilasjon om vinteren og kryssventilasjon om sommeren. For å unngå trekkproblemer og stort varmetap om vinteren er tillatt CO₂-nivå utekompensert, dvs. i de kaldeste periodene av året tillates det noe høyere

CO₂-nivå. Om sommeren vil ønsket innetemperatur styre lukene og tilført luftmengde.

I møterom er det et betydelig høyere luftmengdebehov enn i resten av kontoretasjene, noe som fører til at det er problematisk å tilføre disse luftmengdene i kalde periode uten å få store trekkproblemer. Det er derfor jobbet med en «klimakano»-løsning som til en viss grad forvarmer luften ved induksjon av romluft, og som diffuserer luften over et større areal. Det har blitt gjort en rekke beregninger, kjørt mange avanserte CFD-simuleringer (se essay om CFD-simuleringer) og gjort både felttester og laboratorietester for å komme fram til egnet design av disse, se figur 6.

Det naturlige ventilasjonskonseptet gir null energi til ventilasjonsvifter og lavt kjølebehov, men noe høyere varmebehov sammenlignet med balansert ventilasjon med varmegjenvinning. Det høyere varmebehovet til bygget er kompensert av det høyeffektive laveksergi-systemet (se under).

En viktig del av energi- og klimakonseptet er å ha mye termisk masse, dvs. mange tunge, varmelagrende konstruksjoner som vender direkte mot romluften. Dette demper temperatursvingninger og overfører overskuddsvarme fra dag til natt. Tunge materialer mot romluften har ofte dårlige akustiske egenskaper,

og det er derfor ofte en konflikt mellom god romakustikk og god varmelagring. Det har derfor vært jobbet mye med å ta fram nye akustiske løsninger som gir mye termisk masse, blant annet «akustisk rur» i himling og «workløker» i oppholdssonen, se figur 7 og figur 11.

ENERGIFORSYNING

Energiproduksjon

En meget viktig del av energi- og klimatiseringsstrategien for kontoretasjene er gulv- og veggkonstruksjoner med innstøpte varme/kjølerør. Disse er kalt laveksjerger eller lowex-overflater, siden de er utformet for å avgir varme med meget lave temperaturer (22–28 °C), og kjøle med meget høye temperaturer (18,5–20 °C). Dette fører til at oppvarmings- og kjøleenergi kan genereres med minimalt med høyverdig energi (elektrisitet) og maksimalt med lavverdig energi (geotermisk energi).

For gulvflatene skal det benyttes slipt betongoverflate som gir optimal kontakt mellom sirkulerende vann og romluften, mens det for veggflatene skal brukes en spesiell leirepuss med tilnærmet samme effekt som betongen.

Den termiske energiforsyningen til kontoretasjene er basert på energibrønner og varmepumpe og smart frikjøling via brønnene om sommeren. Bygget og energibrønnene er dimensjonert og utformet slik at det er tilnærmet varmebalanse over året i energibrønnene, dvs. det som

tas opp av varme om vinteren føres tilbake til brønnene om sommeren som kjøling (overskuddsvarme). Dette gir meget gunstig (høye) temperaturer i energibrønnene om vinteren, og dermed gode arbeidsbetingelser for varmepumpen(e). Varmepumpesystemet og den termiske energisentralen er også optimalisert termisk og hydraulisk for å få maksimal varme- og kjølefaktor. Foreløpig planlagt varmefaktor (SCOP) i oppvarmingssesongen er 6,0 og kjølefaktor (SEER) på 60. Dette gir ekstremt lavt behov for kjøpt energi (elektrisitet) til klimatisering av kontorene.

For å dekke det beskjedne behovet for levert (kjøpt) elektrisitet til klimatisering av kontoretasjene er det et moderat stort solcelle-anlegg på taket av de to tårnene, se figur 10. Dette er integrert som en pergola-løsning for de planlagte takhagene.

Energiregnskap

Beregnet energibudsjettet for kontordelen av bygget samt levert energi er vist i tabell 2 og tabell 3. Som vi ser er både oppvarmingsbehov og kjølebehov noe høyere enn det som er vanlig på f.eks. Powerhouse og passivhus-prosjekter. Men dette er langt på vei kompensert ved at varmepumpe-systemet og frikjølingssystemet har såpass høy ytelse, slik at levert energi er meget lavt.

Erfaringer

Gitt prosjektets ambisjoner om naturlig klimatisering og kraftig forenkling av de tekniske installasjonene krever dette et designsteam med spisskompetanse på

enkeltfagområder som man vanligvis ikke har i vanlige prosjekter. Prosjektering av ren naturlig ventilasjon i kaldt norsk klima har ført til at prosessen har lignet mer på et forskningsprosjekt med avanserte simuleringer, laboratorieforsøk og feltforsøk. Ut fra dette har det oppstått behov for å utvikle helt nye løsninger og produkter som:

- Fasadeluker for naturlig ventilasjon, som skal tilfredsstillende er rekke krav som utvendig støy (akustikk), vær- og vindtetthet (byggningsfysikk) og strømingstekniske egenskaper (ventilasjon) og FDV-egenskaper.
- Klimakano for å kunne tilføre naturlig ventilasjon uten trekkproblemer i møterom og lignende. Dette krever løsninger der strømningsteknikk, estetisk utforming, akustikk og vedlikehold tas hensyn til.
- Nye akustiske elementer som «akustisk rur» og «workløker» som både gir tilfredsstillende akustiske forhold samtidig med gode varmelagrende egenskaper.
- «Lowex»-løsninger for avgivelse av varme- og kjøling som gir ekstremt lavt behov levert energi til klimatisering. Disse løsningene gir også mulighet for å klare seg uten utvendig solavskjerming

Krav til spisskompetanse og de høye ambisjonene fører automatisk til tverrfaglig prosesser for å få fram ukonvensjonelle og nye løsninger og produkter. Dette fører også til at man må bruke mer ressurser og lengre planleggingstid enn på et konvensjonelt bygg.

TABELL 2. ENERGIBUDSJETT FOR KONTORDEL AV NYDALEN VY.

Energipost	Spesifikt? energibehov	Energibehov
1a Romoppvarming	25,0 kWh/m ²	104 958 kWh
1b Ventilasjonsvarme	0,0 kWh/m ²	0 kWh
2 Varmtvann	5,0 kWh/m ²	21 074 kWh
3a Vifter	0,0 kWh/m ²	0 kWh
3b Pumper	1,4 kWh/m ²	5 713 kWh
4 Belysning	6,3 kWh/m ²	26 339 kWh
5 Teknisk utstyr	11,7 kWh/m ²	49 149 kWh
6a Romkjøling	20,9 kWh/m ²	88 088 kWh
6b Ventilasjonskjøling	0,0 kWh/m ²	0 kWh
Totalt netto energibehov, sum 1–6	70,2 kWh/m ²	295 321 kWh

TABELL 3. LEVERT ENERGI FOR KONTORDEL AV NYDALEN VY.

Energipost	Spesifikk levert energi	Levert energi
Vifter og pumper	1,4 kWh/m ²	5 713 kWh
Lys	6,3 kWh/m ²	26 339 kWh
Utstyr	11,7 kWh/m ²	49 149 kWh
Varmepumpesystem	6,6 kWh/m ²	27 666 kWh
Elkjel	0,4 kWh/m ²	1 717 kWh
Kjøling	0,4 kWh/m ²	1 762 kWh
Sum levert energi	26,7 kWh/m ²	112 346 kWh
6a Romkjøling	20,9 kWh/m ²	88 088 kWh
6b Ventilasjonskjøling	0,0 kWh/m ²	0 kWh
Totalt netto energibehov, sum 1–6	70,2 kWh/m ²	295 321 kWh



Figur 10: Solcelleanlegg på taket av de to tårnene, utformet som en pergola-løsning for takhagene. III.: Snøhetta/MIR



Figur 11: Akustiske elementer i form av «akustisk rur» i himling og «workløker» i oppholdssonen. III.: Snøhetta/MIR

HouseZero

Prosjektet HouseZero på Harvard Campus er et banebrytende prosjekt som skal vise at det er mulig å rehabilitere et eldre trehus til plussenergi- og nullutslippsnivå med dagens tilgjengelige teknologi. Harvard Center for Green Buildings and Cities (HCGBC), som skal bruke bygget som nytt hovedkvarter, har sammen med et team bestående av blant annet Snøhetta og Skanska Teknikk designet og prosjektert tekniske løsninger for bygget.

Tekst:

Tor Helge Dokka, Skanska Teknikk

Kristian Edwards, Snøhetta

Tine Hegli, Snøhetta

Designstrategier

Samarbeid i forskning- og designprosessen for House Zero har krevd omfattende analyser og dynamiske simuleringer fra starten av prosjektet. En kombinasjon av smarte og svært spesifikke arkitektoniske designgrep, inkludert innovasjon på produktnivå, underbygger disse målene. Designløsninger fokuserer på ultra-effektivitet, og regner med både energiforbruk og bundet energi fra materialer over bygningens levetid over 60 år. En helhetlig tilnærming til materialer har gjennomsyret designet av bygget.

Siden HouseZero ligger i et fredet historisk distrikt, beholder huset mange aspekter av det opprinnelige designet mens nødvendige modifikasjoner tar hensyn til nabolagets karakter.

Akustikk

Akustisk kvalitet som en del av den romlige opplevelsen av HouseZero har hatt stort fokus. Løsninger som behandler støy gjennom både absorpsjon og diffraksjon er implementert i interiøret. Behandling av den eksisterende strukturen, med eksponering av de

AMBISJONER OG MILJØMÅLSETTINGER

Plussenergi

Bygget er planlagt slik at det skal bruke tilnærmet null energi til ventilering, oppvarming og kjøling. Sammen med meget lavt behov for kunstig belysning skal solceller på tak føre til at bygget over året skal produsere mer energi enn det bruker med god margin.

Naturlig ventilasjon

Hele bygget er planlagt med ren naturlig ventilasjon, som drives av termisk oppdrift og/eller vindkrefter, dvs. uten mekaniske vifter av noe slag.

Dagslysaunomitet

På ikke overskyede dager er alle oppholdsrom i bygget designet for å gi 100 prosent dagslysaunomitet i arbeidstiden, dvs. det skal være tilfredsstillende lysnivå uten kunstig belysning.

Nullutslipp

Over byggets levetid skal klimagassutslippet netto gå i null, dvs. klimagassutslipp fra materialer og drift av bygget skal balanseres av «negative» utslipp fra solcelleanlegget.

gamle gulvbjelkene til oppretting av dobbelt høye rom, har positiv virkning på både volum og akustikk. Det

PROSJEKTOPPLYSNINGER

Oppdragsgiver	Harvard Centre for Green Buildings and Cities
Konsulentteam	Snøhetta Oslo, Snøhetta NY, Skanska Teknikk, Windowmaster, Brekke & Strand, CSL Consulting, BR+A consulting, Silman Associates, RW Sullivan, Bristol Engineering, Harvard GSD, Harvard CGBC.
	1920-talls villa renoveret til kontor og undervisningslokale
Adresse	20 Sumner road, Cambridge MA, USA
Fase / fremdrift	Byggefase/overtagelse forventet mars 2018
Oppvarmet areal	360 m ²

fasetterte trapperommet er utformet for å redusere potensiell forstyrrelse fra menneskelig aktivitet. Som en del av en



Figur 1: Illustrasjon av interiør. III.: Snøhetta/Plompmozes

unik digital utveksling vil elementene i det fasettert trapperommet bli produsert og konstruert av studenter ved Harvard Graduate School of Design.

Interiør

Interiørets materialepalett inneholder naturlig leire, bjørkefinér, betong og nano-keramikk, alle valgt for høy ytelse, samt lokal tilgjengelighet. Hygroskopiske materialer er benyttet for å opprettholde en behagelig fuktighetsbalanse i inneluft. Alle innvendige overflater og komponenter er valgt for avgi lite forurensninger og bidra til god luftkvalitet. Minimalt med overflatebehandling er valgt ut fra flere kriterier for å skape et balansert og komfortabelt innemiljø som naturlig responderer til både beboeren og det eksterne klimaet.

Energieffektivitet og energiforsyning

For å nå miljømålsetningene til bygget er det gjort en rekke smart sammensatte tiltak for å redusere energibehovet maksimalt:

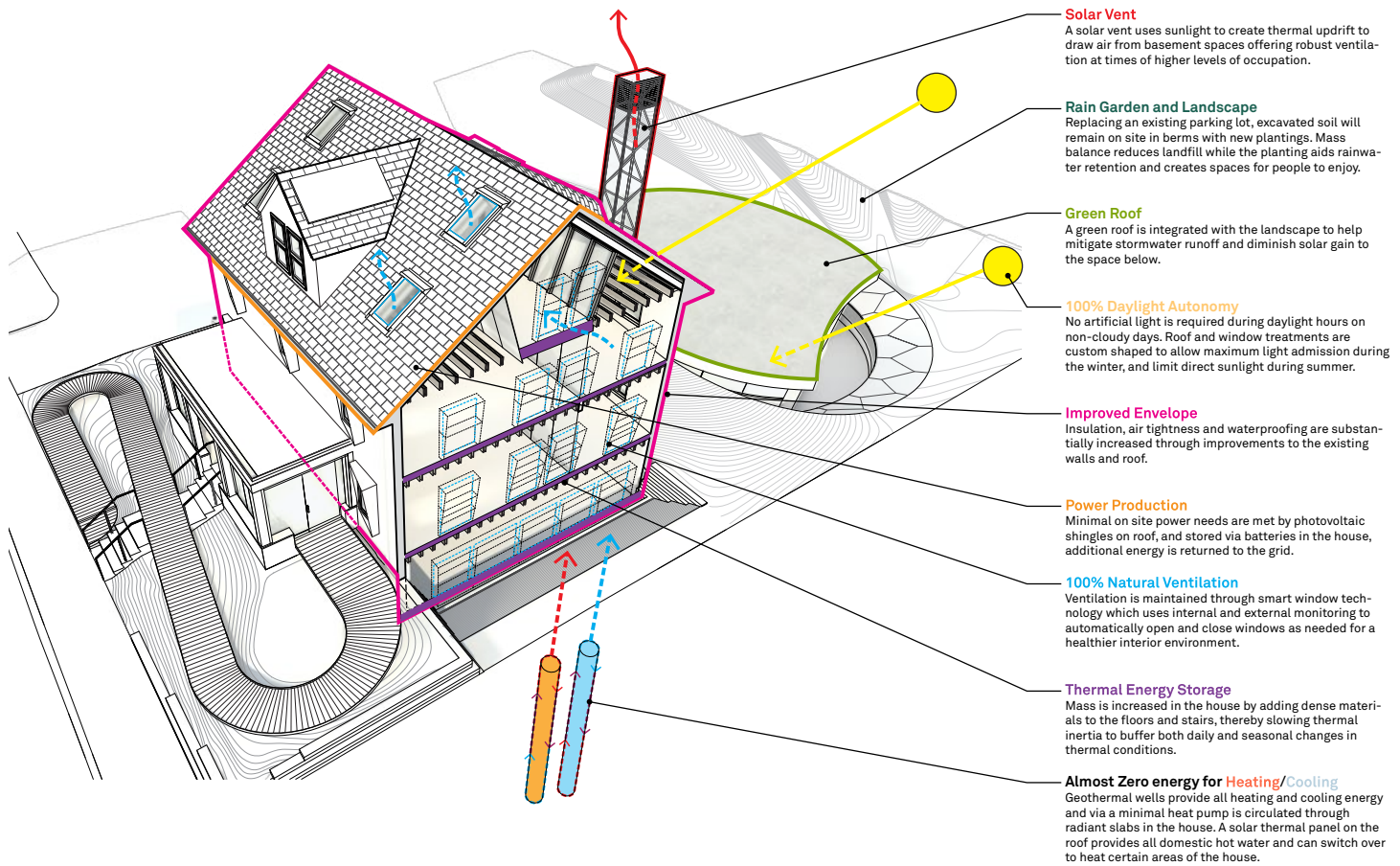
- **Naturlig ventilasjon:** Bygget skal ventileres og klimatiseres med kun naturlig ventilasjon. For å unngå stort



Figur 2: Illustrasjon av interiør. III.: Snøhetta/Plompmozes

varmetap eller dårlig luftkvalitet og termisk komfort styres den naturlige ventilasjonen med motorstyrte vindusluker. Disse styres etter innvendige og utvendige sensorer og avanserte algoritmer for å gi godt inneklima og samtidig lavt varme- og kjølebehov.

- **Dagslysautonomitet:** Vindusutforming og takvinduer er utformet for å gi maksimal dagslystilgang om vinteren uten å få for mye uønsket solinnslipp om sommeren. Løsningene er planlagt slik at det ikke skal være behov for kunstig belysning på dagtid, bortsett fra helt overskyede dager.



Solar Vent
A solar vent uses sunlight to create thermal updraft to draw air from basement spaces offering robust ventilation at times of higher levels of occupation.

Rain Garden and Landscape
Replacing an existing parking lot, excavated soil will remain on site in berms with new plantings. Mass balance reduces landfill while the planting aids rainwater retention and creates spaces for people to enjoy.

Green Roof
A green roof is integrated with the landscape to help mitigate stormwater runoff and diminish solar gain to the space below.

100% Daylight Autonomy
No artificial light is required during daylight hours on non-cloudy days. Roof and window treatments are custom shaped to allow maximum light admission during the winter, and limit direct sunlight during summer.

Improved Envelope
Insulation, air tightness and waterproofing are substantially increased through improvements to the existing walls and roof.

Power Production
Minimal on site power needs are met by photovoltaic shingles on roof, and stored via batteries in the house, additional energy is returned to the grid.

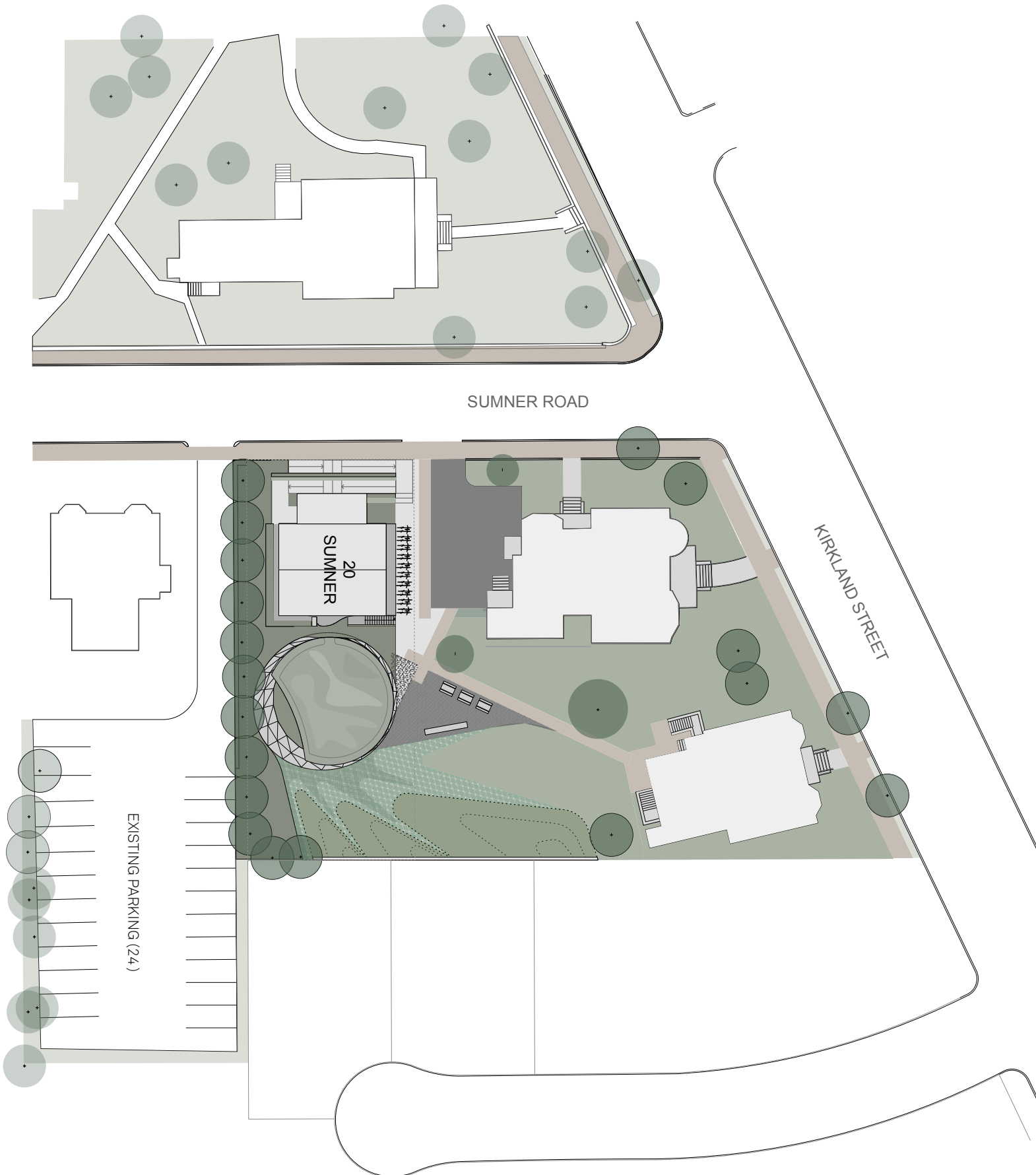
100% Natural Ventilation
Ventilation is maintained through smart window technology which uses internal and external monitoring to automatically open and close windows as needed for a healthier interior environment.

Thermal Energy Storage
Mass is increased in the house by adding dense materials to the floors and stairs, thereby slowing thermal inertia to buffer both daily and seasonal changes in thermal conditions.

Almost Zero energy for Heating/Cooling
Geothermal wells provide all heating and cooling energy and via a minimal heat pump is circulated through radiant slabs in the house. A solar thermal panel on the roof provides all domestic hot water and can switch over to heat certain areas of the house.

Figur 3: Ulike systemer og løsninger i House Zero vil redusere energiforbruket og gi godt inneklima. En forbedret bygningskropp, økt termisk lagringsevne og sol-kanalen bidrar til å nå de ekstremt høye miljøambisjonene for House Zero. III.: Snøhetta

- **Bygningskroppen:** Bygningskroppen er oppgradert fra eksisterende tilstand til meget godt isolerte konstruksjoner og vinduer, og med vindtetting som gir neglisjerbare luftlekkasjer.
 - **Termisk varmelagring:** Den gamle trevillaen har i utgangspunktet lite varmelagrende konstruksjoner. For å øke den termiske massen er det tilført tunge gulvmaterialer som vil dempe temperatursvingninger over døgnet og lagre overskuddsvarme fra dag til natt.
 - **Sol-ventilasjon:** På østsiden av bygget skal en solabsorberende glasskanal øke oppdriftsventilasjonen fra kjelleretasjen, der et stort møterom med stor personbelastning trenger ekstra ventilasjon.
 - **Passiv og aktiv solavskjerming:** For alle vertikale vinduer er det spesialdesignet vindusomramming for å unngå direkte solinnstråling om sommeren, samtidig som dagslys og ønsket solstråling slipper inn om vinteren. For takvinduer er det nødvendig med automatisk styrte screens for å unngå uønsket solinnslipp på solrike dager.
 - **Solfangere:** Solfangere er designet for å dekke en stor del av byggets varmtvannsbehov. Solfangerne kan også kobles til labfasilitetene i bygget og kan der også brukes til oppvarming.
 - **Solcelleanlegg:** Det meget lave elektrisitetsbehovet til bygget er mer enn balansert med solcelleanlegget på taket av bygget slik at bygget energimessig går i pluss over året. Overskudd av solstrøm går enten til lagring i en batteripakke i kjelleren, eller blir eksportert til el-nettet.
- I tillegg til tiltakene for å få energibehovet så lavt som mulig, er det også en rekke tiltak på energiforsyningssiden:
- **Geotermisk energi:** Energibrønner sammen med en liten varmepumpe produserer varme til hele huset med ekstremt lite tilført energi (elektrisitet). Om sommeren brukes gratis kjøleenergi fra energibrønnene til å holde komfortabel temperatur inne.
 - **Gulvvarme/gulvkjølesystem:** Varme- og kjøling tilføres bygget via et lavtemperatur gulvvarmesystem og et høytemperatur gulvsvalesystem. Dette optimaliserte systemet bidrar til at energibrønn/varmepumpe-systemet får meget høy ytelse.



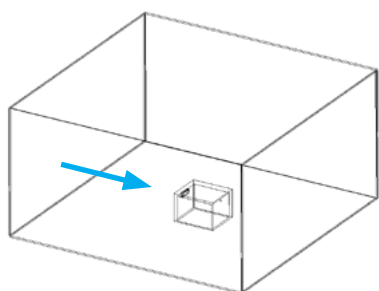
Figur 4: Situasjonsplan. III.: Snøhetta

Simulering av luftstrømninger i naturlig ventilerte bygg

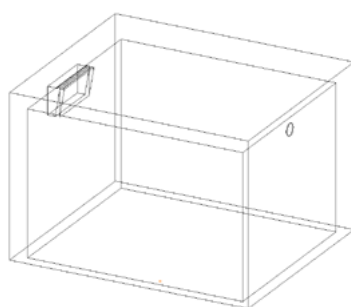
Computational Fluid Dynamics (CFD) brukes blant annet til design av romskip og sportsbiler, og er basert på de grunnleggende fysiske ligningene for væske- og gasstrømning (Navier-Stokes-ligninger). Dette avanserte numeriske strømningsverktøyet er også brukt til å designe og verifisere det naturlige ventilasjonssystemet på Nydalen Vy.

Tekst:

Jannick K. Roth, WindowMaster International A/S



Figur 1: Illustrasjon av vindtunnelen anvendt for simuleringen av den naturlige ventilasjon.



Figur 2: CFD-modell av rommet.

Introduksjon

Det finnes en rekke metoder som kan brukes til å undersøke strømningsmønstre i et rom. Disse varierer fra enkle og avanserte håndberegninger til vannbadsanalyser og CFD-analyser (Computational Fluid Dynamics). De forskjellige metodene har en rekke fordeler/ulempesom må vurderes før slike beregninger påbegynnes. CFD er vitenskapen om å kunne forutsi bevegelsen for en væskestrøm, varme- og masseoverføring og andre relaterte fenomener ved å løse matematiske ligninger som er representert ved fysiske lover, ved hjelp av en numerisk metode. CFD er et verktøy som kan brukes til å designe, utvikle og analysere, samt gi en forståelse av forskjellige systemer ved å simulere væske eller gass, som enten passerer gjennom eller omkring et objekt. Dette gir muligheten for å forutsi, visualisere og forstå f.eks. luftbevegelser i et rom. For ventilasjon, for eksempel, kan CFD bidra til å sikre et godt design av ventilasjonssystemet idet det tas høyde for faktorer som varmekilder (eks. kontorutstyr), belysning,

personbelastning, vind, rommets termiske egenskaper mm.

Dette kapitlet fokuserer på CFD for design av det naturlige ventilasjonssystemet for Nydalen Vy.

Innvendig CFD-simuleringer

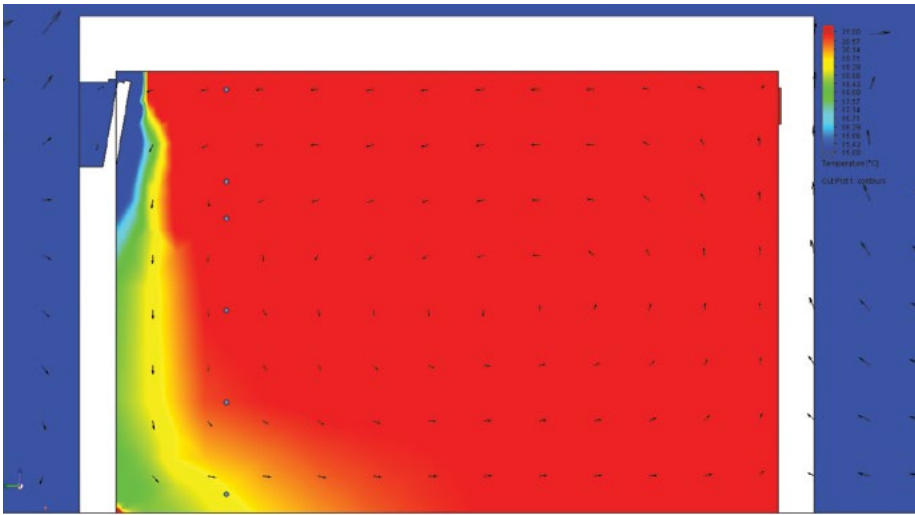
Formålet med analysen er å bestemme luftens strømningsmønster i et gitt rom. Risikoen for trekk i løpet av vinteren, hvor den eksterne temperaturen kan gå så lavt som til -20°C (253 K), er også vurdert. I analysen av en ekstrem situasjon er temperaturforskjellen mellom inne og ute ($\Delta T_{\text{in-out}}$) på mer enn 40 grader, hvilket øker faren for trekk når et vindu åpnes. Strømningsanalysen er utført i SOLIDWORKS Flow Simulation 2016, hvor K-epsilon ($k-\epsilon$) turbulensmodellen er anvendt.

Det har blitt utført CFD-analyse for et av de ensidig ventilerte rommene med naturlig ventilasjon, dvs. hvor der kun er automatisk styrt åpning i den ene fasaden. Rommet har blitt simulert i en vindtunnelmodell som vist på figur 1,

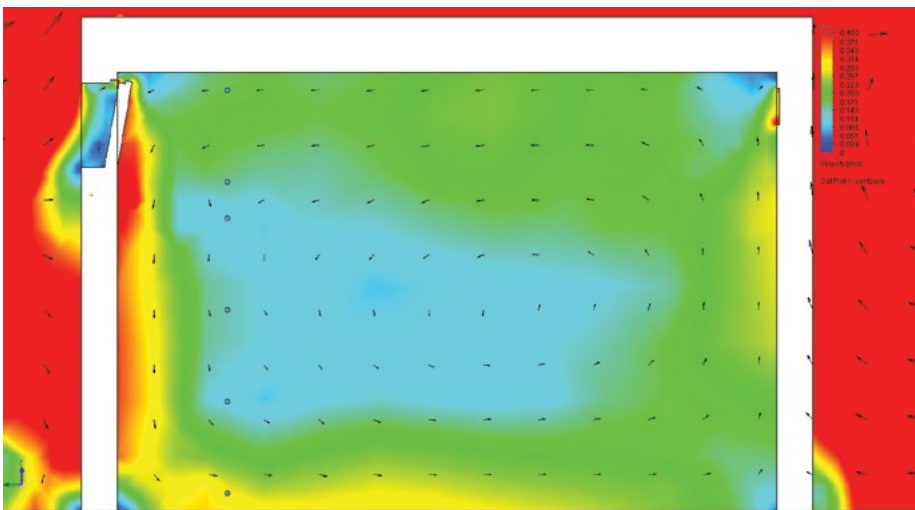
som skal simulere utvendig vind. Vindretninger er illustrert med en blå pil, som er vinkelrett på den fasaden med det høyest plasserte fasadevinduet. Det er regnet med en relativ lav vindhastighet på 1 m/s. Dette vurderes å være den mest kritiske, da det antas at luftstrømmen da vil falle ned langs fasaden når den komme inn av vinduet og dermed ikke ha samme mulighet for å blandes med rommets luft.

Det er tatt utgangspunkt i et typisk utsnitt av fasaden med en bredde på 3 meter og en høyde på 3,6 meter. Fasadevinduet er 0,5 meter i høyden og har en bredde på 1 meter. Det tilføres ca. $40 \text{ m}^3/\text{h}$ luft gjennom vinduet, noe som er tilstrekkelig til å opprettholde et god luftkvalitet i len vintersituasjon. Det er regnet med gulvvarme som sørger for at temperaturen i rommet blir på ca. 21°C . Ut ifra ovenstående har det blitt oppbygget en 3D-modell i SolidWorks, som vist på figur 2.

I beregningene er det omkring 300.000 celler, som hovedsakelig er plassert



Figur 3: Temperaturfordeling



Figur 4: Strømningsmønsteret samt lufthastighet

Høyde over gulvnivå [m]	Temperatur [°C]	Luft-hastighet [m/s]	DR [%]
0,1	19,6	0,15	14,7
0,6	20,7	0,07	4,3
1,1	21,2	0,08	5,4
1,6	21,5	0,05	0
1,8	21,6	0,08	5,3
2,3	21,8	0,14	11,4

Tabell 1: Resultater i punktene vist på figur 3 og 4 ved en turbulensintensitet på 20 %.

i rommet. Cellene er kubiske, og størrelsen av disse varierer avhengig av plasseringen. De minste cellene finnes nær vindusåpningen, hvor den potensielle åpningen er omkring 9 mm. Cellene i dette området er derfor mindre enn 9x9x9 mm.

Resultater

De etterfølgende resultatene er vist på et tidspunkt hvor strømningsmønsteret i rommet er stabilisert. For å kunne følge luftstrømningene/resultatene opp til et tidspunkt med stabilt strømningsmønster, har resultatene blitt lagret for et passende intervall, der det er mulig å se utviklingen over tid. For utvalgte parametere og enkelte steder i rommet har det dessuten blitt laget videoer som f.eks. viser temperaturutviklingen over tid i det valgte snittet. De etterfølgende figurer viser resultater midt i rommet. Figur 3 og 4 viser hhv. temperaturfordelingen (°C) og lufthastigheten (m/s) midt i rommet. Det har blitt analysert en rekke punkter (blå punkter på figurer) som befinner seg i en avstand av 60 cm fra fasaden, som er der hvor

oppholdssonen starter. Det er sett på i alt seks punkter som hver især refererer til enten ankel-, rygg-, nakke-, hodenivå etc.

Det ses at den avkjølte luften som kommer inn gjennom fasadevinduet faller ned langs fasaden og utvikler seg langs gulvet. Det kan dog konstateres at den kaldere luften relativt raskt blir varmet opp slik at den tilsvarende temperaturen i rommet.

Det samme fenomenet kan konstateres på figur 4, som viser strømningsmønsteret samt lufthastigheten i rommet. Her ses det at luften gradvis avtar i akselerasjon når den beveger seg ned langs fasaden og igjen når den fordeler seg ut i rommet. Pilene viser luftens strømningsmønster. Først beveger luften seg ned langs fasaden ved det åpne vinduet, langs gulvet, opp langs bakveggen og over himlingen, der den da møter den innkomne luften.

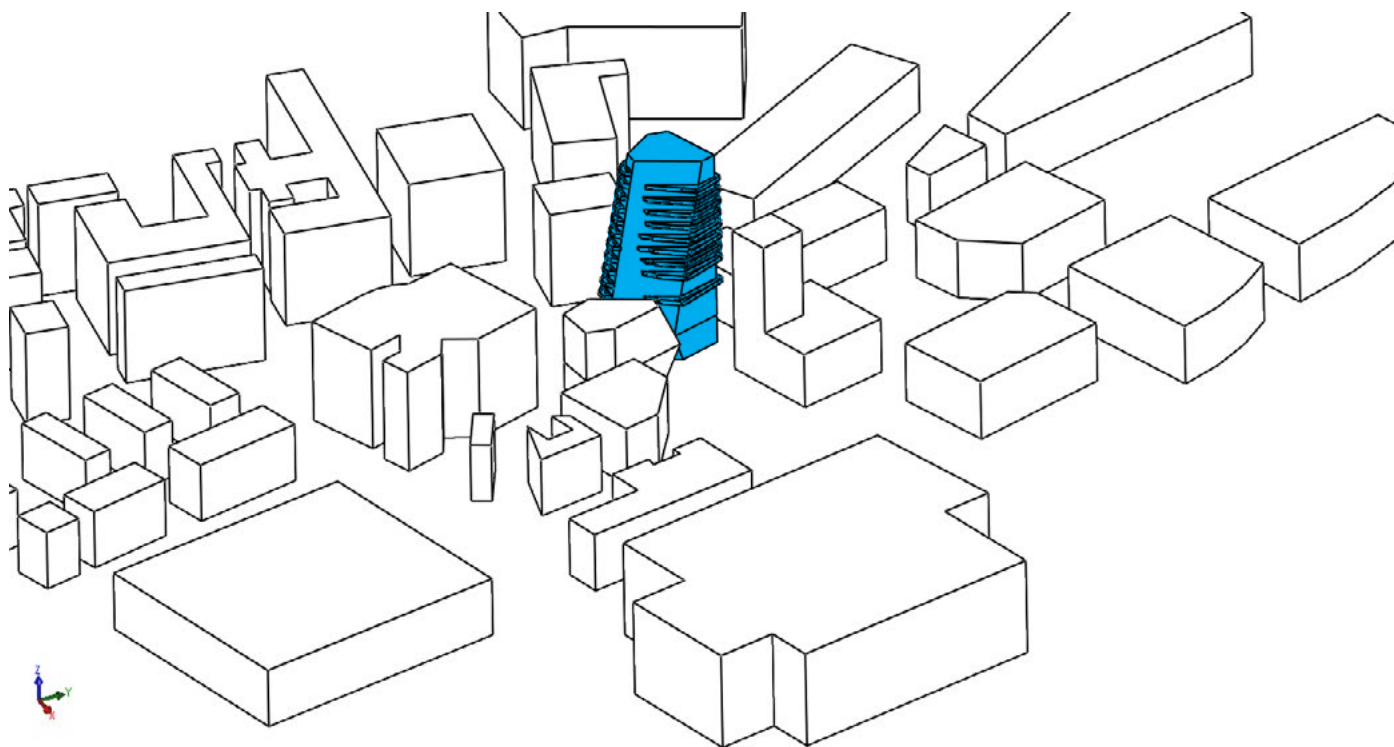
Tabellen viser et utvalg av resultatene (temperatur og lufthastighet) i de blå punktene vist på figur 3 og 4, da disse

anses for å være de mest kritiske, samt at de befinner seg i oppholdssonen (avstand 60 cm fra fasaden).

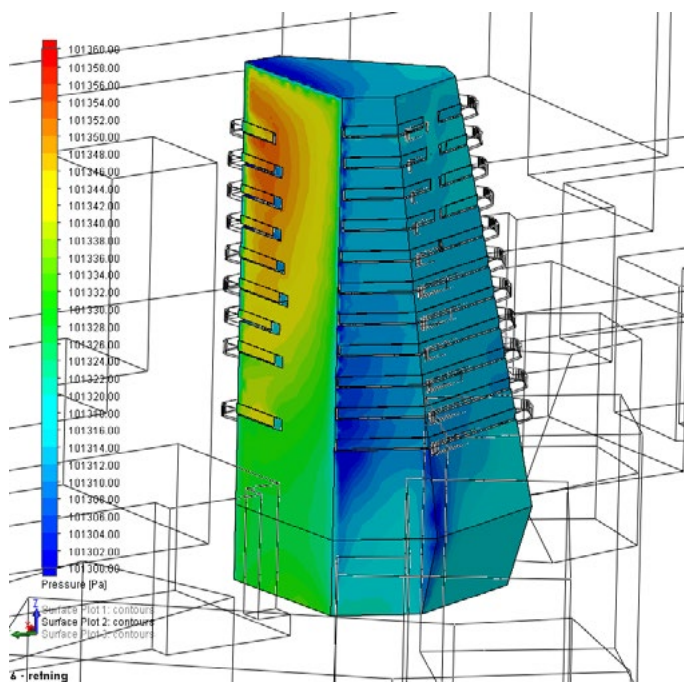
Figur 5 viser den utvendige CFD-modellen for Nydalen Vy, samt hvordan de omkringliggende bygninger har blitt tatt tatt med i betraktning.

Ut ifra ovenstående tabell kan det ses at lufthastighetene er tilstrekkelig lave samtidig med at de målte temperaturene i de enkelte punktene er tilpass høyde.

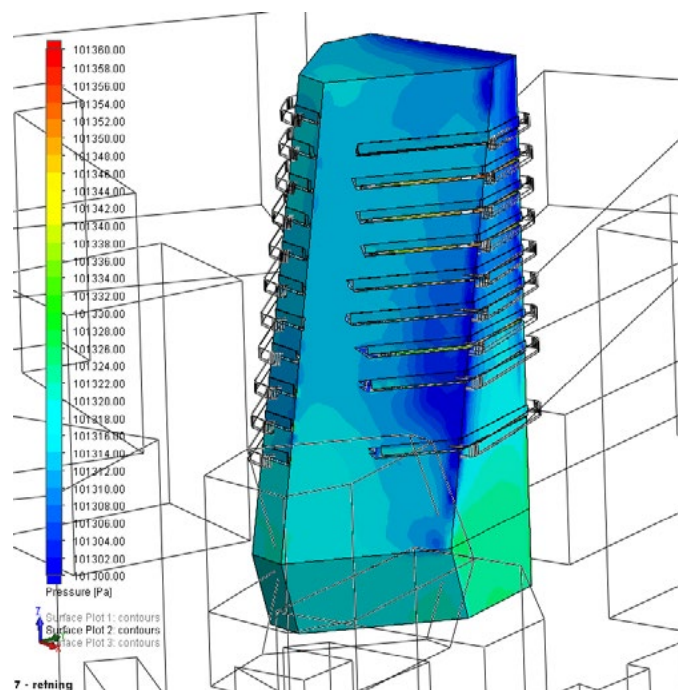
Draught Rate (DR) kriteriet er etter Professor Fangers trekkmodell det beste kriterium for vurdering av trekkrisiko. I den internasjonale standarden EN/ISO 7730 beskrives ligningen til beregning av trekkrisikoen DR som er avhengig av lufttemperaturen, middellufthastigheten og turbulensintensiteten. Ifølge denne standarden skal trekkrisikoen defineres eller beregnes som DR. Ofte brukes inneklimateklasse B fra CEN/CR 1752 med krav til lufthastigheter med en maksimal DR på 20 prosent.



Figur 5: Utvendig CFD-modell for Nydalen Vy



Figur 6: Trykkfordeling for Nydalen Vy fra vindretning nord.



Figur 7: Trykkfordeling for Nydalen Vy fra vindretning syd.

I tabell 1 ses at DR ligger under 20 prosent, hvilket vil overholde de vanlige normer og kriterier.

Utvendig CFD for styring av naturlig ventilasjon

For at styringssystemet for naturlig ventilasjon skal kunne åpne/lukke hvert vindu til de presist angitte stillingene, krever det nøyaktig kunnskap om luftstrømmen gjennom det enkelte vindu alt etter vindens retning og hastighet. Styringssystemet, NV Advance®, justerer åpningsgraden av hvert enkelt vindu på bakgrunn av en utvendig CFD-beregning. Her blir bygningen og dens omgivelser modellert i et avansert program slik at luftstrømmen gjennom de enkelte vindusåpningene kan beregnes presist ut ifra vindtrykkkoeffisienten (Cp-verdien) for forskjellige vindretninger.

Disse parameterne, avhengig av ventilasjonsbehovet i hvert rom, inngår som en aktiv del i styringsalgoritmene for den naturlige ventilasjonen. Avhengig av vindretningen og vindhastigheten blir det nødvendige åpningsarealet for det enkelte vindu beregnet på bakgrunn av den nødvendige luftmengden i det enkelte lokalet i bygget.

Figur 6 og 7 viser trykkfordelingen på bygget for to ulike vindretninger (hvh. nord og syd). De forskjellige fargene indikerer størrelsen av over-/undertrykket på bygget. Fargen rød angir hvor på bygget det er høyest overtrykk, mens blå angir hvor på bygget det er undertrykk. Det ses at det er relativt stor forskjell på fasaden avhengig av vindretningen, hvilket betyr at åpningsgraden av vinduene i f.eks. forskjellige høyder skal styres forskjellig avhengig av

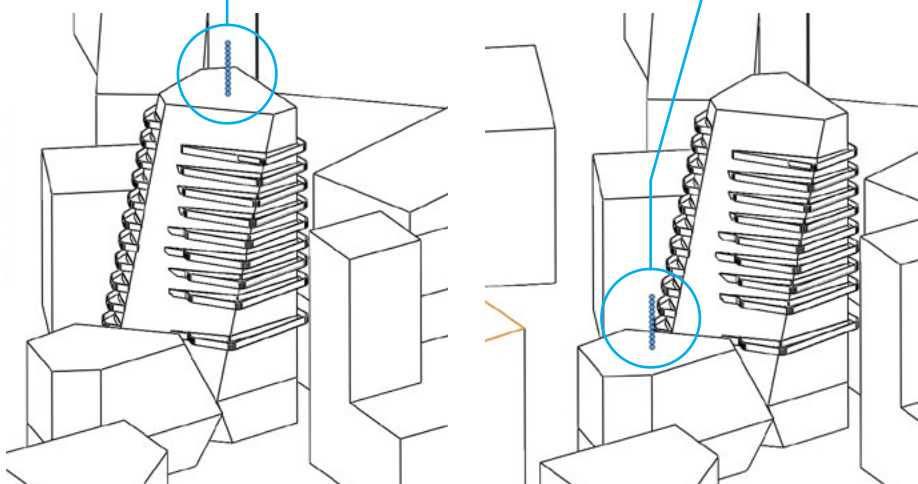
ventilasjonsbehovet, vindretningen og vindhastigheten for å gi den rette mengde luft.

For hvert vindu som benyttes i den naturlige ventilasjonsstrategien, avleses dennes respektive Cp koeffisient ut ifra resultatene fra den utvendige CFD. Dvs. at det for hver simulert vindretning utregnes en Cp-verdi for det respektive vinduet, noe som aktivt brukes av systemet til å regulere vindusåpningsgraden.

Plasseringen av værstasjonen er i tillegg analysert og resultatene herifra har blitt innlemmet i styringsalgoritmen for den naturlige ventilasjon, hvilket gjør at systemet har mulighet for å linke vindhastigheten til de respektive trykkfordelingsprofilene for den utvendige CFD-simulering se figur 8.

Høyde over taket [m]	Vindhastigheten [m/s]
1	1,0
2	2,1
3	2,9
4	3,9
5	4,8
6	5,8
7	6,8
8	7,1
9	7,2
10	7,3

Høyde over taket [m]	Vindhastigheten [m/s]
1	4,5
2	4,5
3	4,5
4	4,4
5	4,4
6	4,4
7	4,3
8	4,3
9	4,3
10	4,2



Figur 8: Analyse av plasseringen av værstasjonen.

Avansert simulering av inneklime i lokaler med naturlig ventilasjon

Generell termisk komfort i et rom, luftskifte drevet av naturlige drivkrefter og behov for tilført varme og kjøling beregnes vanligvis i et flersone inneklimesimuleringsprogram. Slike beregninger gir god oversikt over generell ytelse over lengre tid, men ikke detaljert informasjon om luftstrømninger.

Tekst:

Arnkell J. Petersen & Søren Gedsø,
Erichsen & Horgen AS

Pålitelig simulering av inneklime i lokaler med naturlig ventilasjon er mer krevende enn simulering av inneklime i lokaler med mekanisk ventilasjon fordi drivkreftene er mer variable og i lange perioder svake. Ved naturlig ventilasjon er det naturlige drivkrefter som driver ventileringen basert på vindkrefter og termisk oppdrift. Ved prosjektering av naturlig ventilasjon kan en kun styre hvordan disse kreftene utnyttes for ventilering av bygg. Dette gjøres ved korrekt designede lufteluker med hensyn til størrelse, åpningsvinkler, plassering osv. I tillegg kan byggets utforming være med å forsterke eller dempe vindkrefter/termisk oppdrift etter behov. I et tradisjonelt mekanisk ventilert bygg vil en som oftest ha mulighet til å bygge inn ekstra kapasitet i klimatiseringssystemet, noe som kan møte eventuelt senere endringer i bruk av bygget, unøyaktigheter i beregninger osv. Ved bruk av naturlig ventilasjon vil det å prosjektere inn en buffer kunne medføre uhensiktsmessige bindinger på bygningsdesign. Det er derfor ekstra viktig å kartlegge og redusere de mest sentrale usikkerhetsmomentene i beregningen så mye som mulig. Dette vil sikre at en har valgt riktig størrelse, plassering, utforming og styring av åpningene, samt at en har valgt en hensiktsmessig kobling mellom soner i bygget.

I det følgende vil de viktigste forutsetningene for simulering av inneklime i lokaler med naturlig ventilasjon gjennomgås, samt hvordan en kan gå frem for å kvalitetssikre og vurdere resultatene.

Beregningsmetoder

Ved simulering av inneklime og luftskifte i mekanisk ventilerte lokaler er det som oftest mulig å benytte relativt enkle beregningsmetoder. Det er gjerne fasadens påvirkning på inneklime samt innvirkning av termisk masse og andre dynamiske elementer som setter grenser for hvor enkelt inneklime kan modelleres, og ved mekaniske systemer er fysikken forholdsvis enkel. Dette er ikke tilfellet når en skal modellere naturlig ventilerte lokaler siden slik modellering krever et økt presisjons- og kompleksitetsnivå. Modellering av termisk inneklime kan forenklet deles opp i følgende kategorier, listet opp i økt kompleksitetsgrad:

- **Innledende analyser**
Tommelfingerregler og enkle statiske analyser av luftskifte, termisk inneklime og luftstrømninger kan være nyttige i tidligfase for å gi indikasjoner til riktige størrelsesforhold i tidligfase, men er ikke egnet for verifisering av ytelse.
- **Enkelsone simulering av inneklime og ventilasjon**
Kan være nyttig for å vurdere enkelsoner, men krever da en presis

modellering av bl.a. åpninger og termisk masse. Enkelsone beregningsprogrammer har som oftest en enkel modellering av dette, og en bør derfor være varsom ved valg av programvare.

- **Flersone luftstrømningsanalyser**
Det er mulig å gjøre klimabaserte analyser av luftskifte hvor hele bygg modelleres, og dermed få innblikk i potensialet for ventilering ved forskjellige sammenkoblinger av soner og uteklime. Dette kan være nyttig info for tidligfase, men er ikke egnet for verifisering av ytelse.
- **Flersonesimulering av inneklime og ventilasjon**
Ved en flersonesimulering av inneklime og ventilasjon vil en kunne få detaljert informasjon om de termiske forholdene innendørs, samt luftskifte som kan oppnås fra naturlig ventilasjon. Slike simuleringer kan brukes for å optimalisere størrelse og plassering av både åpninger, termisk masse samt varme- og kjøleavgivere. En kan videre ved simulering vurdere konsekvenser av endring av styring og bruk av lokalene. En flersonesimulering gir et godt overordnet blikk på luftkvalitet og termisk inneklime, men ikke informasjon om luftstrømninger i lokalene, og kan derfor ikke benyttes til å vurdere lokal komfort.

- **Modellering av strømningselementer integrert i simulering av inneklima og ventilasjon**

Det å inkludere en forenklet strømningsanalyse inn i et termisk simuleringsprogram er lovende teknologi som er på forsøksstadiet. En suksessfull implementering vil kunne gi innblikk i strømninger i rommene som analyseres over en lengre periode uten at dette krever tunge beregningsprosesser. Begrensningen er at en slik analyse ikke vil inkludere interaksjon mellom de forskjellige strømningsene, og vil veldig enkelt kunne overse strømninger som dannes ved interaksjonen. Videre vil utforming av åpninger m.m. ofte være lite detaljert i beregningen, og en kan derfor lure på om de resulterende luftstrømninger er korrekte. En bør derfor være svært varsom ved tolkning av resultater fra en slik simulering.

- **Detaljert strømningsanalyse (CFD)**

Ved bruk av CFD-programvare (Computational Fluid Dynamics) er det mulig å kjøre en strømningsberegning på en vilkårlig geometri, termiske forhold osv. og få resultater med høy detaljeringsgrad. Men bemerk at også CFD-beregninger representerer en forenkling av virkeligheten, og at ettersom modellene blir mer

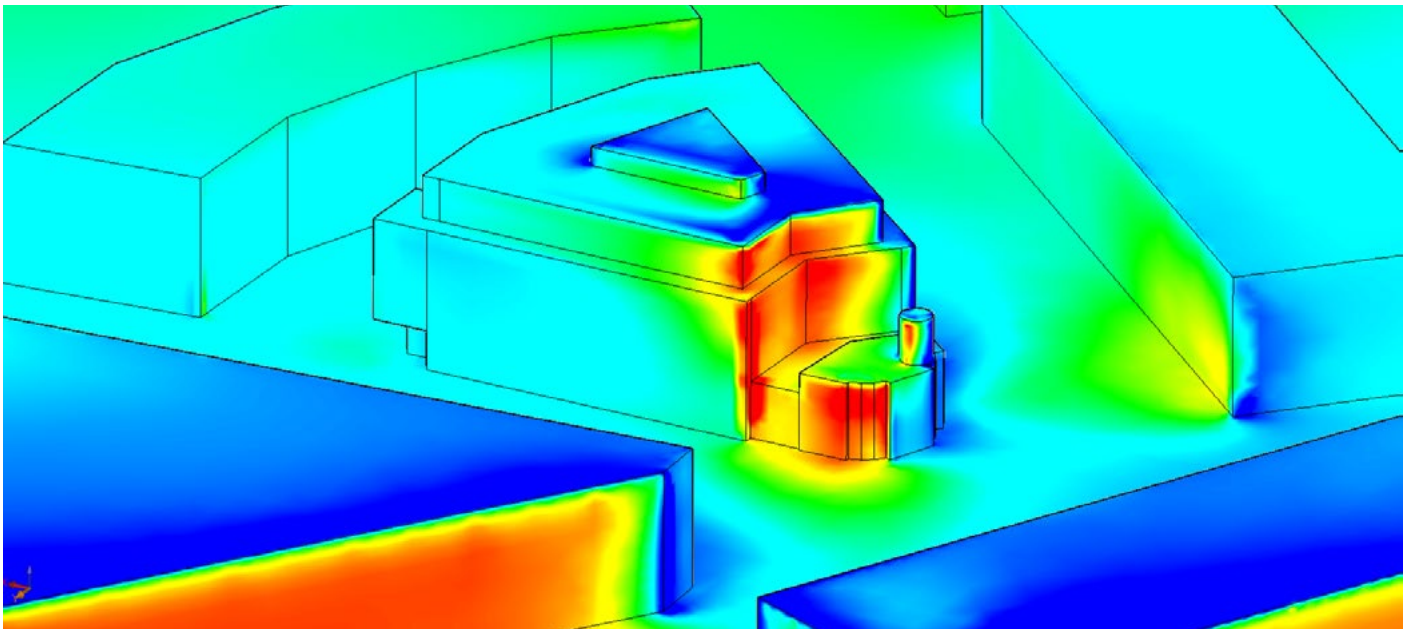
komplekse, så er det en tendens til flere fallgruver heller enn færre. Det er to hovedulempen ved slike beregninger: Den ene at beregningene er tidskrevende å kjøre og sette opp. Den andre er at det kan være svært vanskelig å gjennomskue om resultatet er korrekt, idet resultatene som regel fremstår som fysisk korrekte. Slike beregninger bør derfor kun utføres av spesialister innen strømningsteknikk, og resultater bør kun anses som en indikator på riktig resultat hvis ikke det foreligger målinger som bekrefter hovedkonklusjonene.

Det vanligste programmet for beregning av inneklima i Norge er for tiden SIMIEN, som vil i kunne gi tilstrekkelig nøyaktig resultater i de fleste tilfeller ved mekanisk ventilering selv om programmet har kjente begrensninger tilknyttet til modellering av bl.a. termisk masse, stråling mellom flater, vinduselementer, varme- og kjøleavgivere, naturlig ventilering m.m.. Ved en videre detaljering av modeller for styring av åpninger, samt interaksjon mellom flere åpninger, kan SIMIEN benyttes til vurdering av enkeltsoner, men som status er i dag bør SIMIEN ikke benyttes til vurdering av lokaler som ventileres med naturlige drivkrefter.

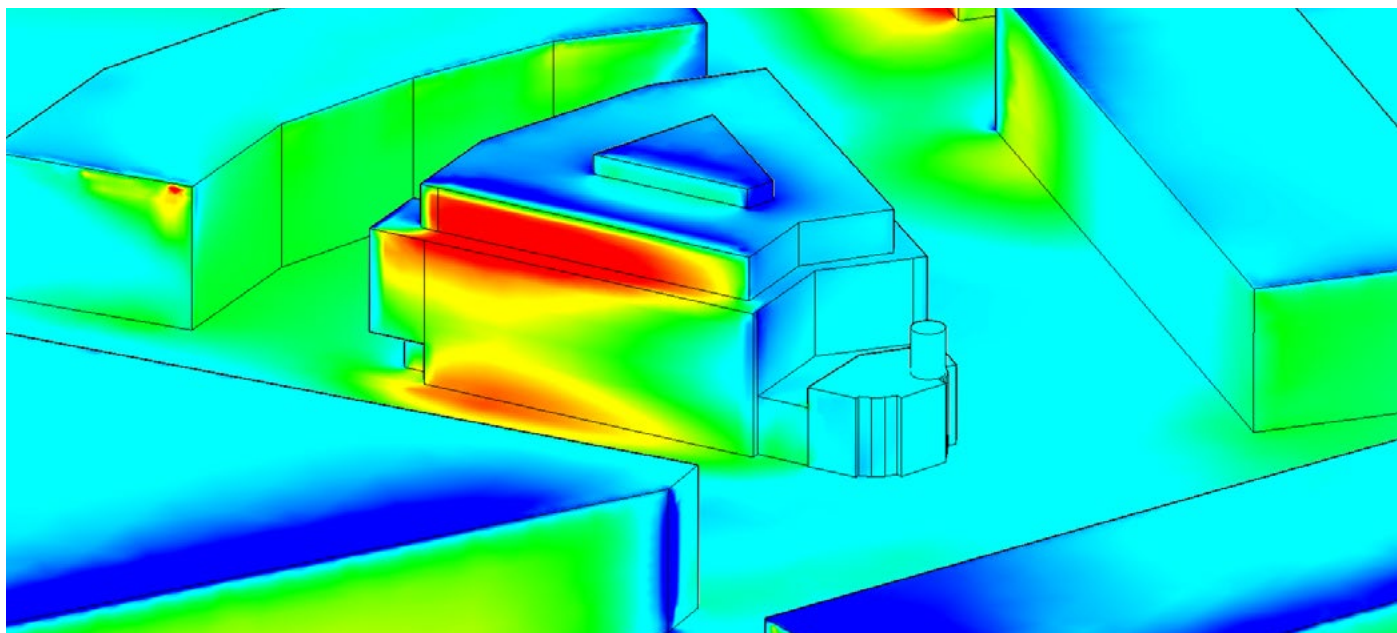
Det er blitt mer og mer vanlig i Norge å benytte IDA ICE til mer avanserte simuleringer av termisk inneklima. IDA ICE er et godt eksempel på et program innenfor flersonesimulering av inneklima og ventilasjon som er godt validert og brukes internasjonalt. IDA ICE er velegnet til vurdering av generelle termiske forhold og luftskifte i naturlig ventilerte lokaler. For tiden pågår et arbeid mot å inkludere både strømningselementer og CFD i IDA ICE, noe som vil gjøre programmet enda bedre egnet til vurdering av naturlig ventilerte lokaler. Resultatet av dette arbeidet ligger litt frem i tiden.

Det finnes videre en rekke programmer som kan benyttes til beregning av naturlig ventilering med forskjellig kompleksitet og egnethet. Det viktigste her er at operatøren er kompetent og kjenner til de begrensninger programmet har.

I det etterfølgende fokuseres det på flersonesimulering av inneklima og ventilasjon, og noen av de viktigste elementene som bør være i fokus ved slike simuleringer blir diskutert. I den grad det er relevant tas det utgangspunkt i IDA ICE som et verktøy.



Figur 1: Eksempel på varians i trykkforhold, og dermed C_p , på et bygg. Ill.: Jannick Roth, WindowMaster



Figur 2: Eksempel på varians i trykkforhold, og dermed Cp, på et bygg. Ill.: Jannick Roth, WindowMaster

Åpninger for ventilering

Korrekt representasjon av åpninger i beregningsmodeller er viktig for sluttresultatet. Her er det viktig at den prosjekterende forstår de modeller beregningsprogrammet bruker, og de forenklinger som inngår i modelleringen. De viktigste momentene en må være oppmerksom på, utover åpningens geometri og størrelse, er:

- Det er som oftest en stor forskjell på størrelse på selve vinduet/luken og det frie arealet som luft kan strømme gjennom. Som oftest har luker en begrensning på hvor stor vinkel de kan åpnes til enten grunnet sikkerhet eller en fysisk begrensning i utstyr.
- Åpningens utforming påvirker luftstrømningen gjennom den, og en må ha et forhold til åpningens karakteristiske åpningskoeffisient C_d . Denne er etter vår erfaring ofte overvurdert ved beregning av naturlig ventilasjon.
- Ofte kombineres disse to forhold, fritt åpningsareal og C_d , og representeres

ved C_v erstatter da C_d , men ganges da med det totale åpningsarealet til vinduet. Åpningsgraden hensyntas i C_v -verdien direkte, og det er ofte mulig å få produktspesifikke verdier basert på tester i laboratorium.

Trykkforhold ute

En viktig inndataparameter for en beregning av drivtrykk til en åpning, er vindtrykkkoeffisienten CP. For et presist resultat bør variasjon av CP-verdien over fasaden til den aktuelle bygning og lokasjon bestemmes ved en CFD-beregning, se artikkelen *Simulering av luftstrømninger i naturlig ventilerte bygg*, alternativt kan det brukes Cp-verdier fra litteraturen. Det siste er mindre presist, men ikke uvanlig å gjøre og er en ok tilnærming i tidligfase.

Bemerk at i utgangspunktet varierer CP ganske mye over en fasade, og hver åpning burde ha en egen CP-verdi. Å operere med standard CP-verdier og en verdi per fasade, er en akseptabel

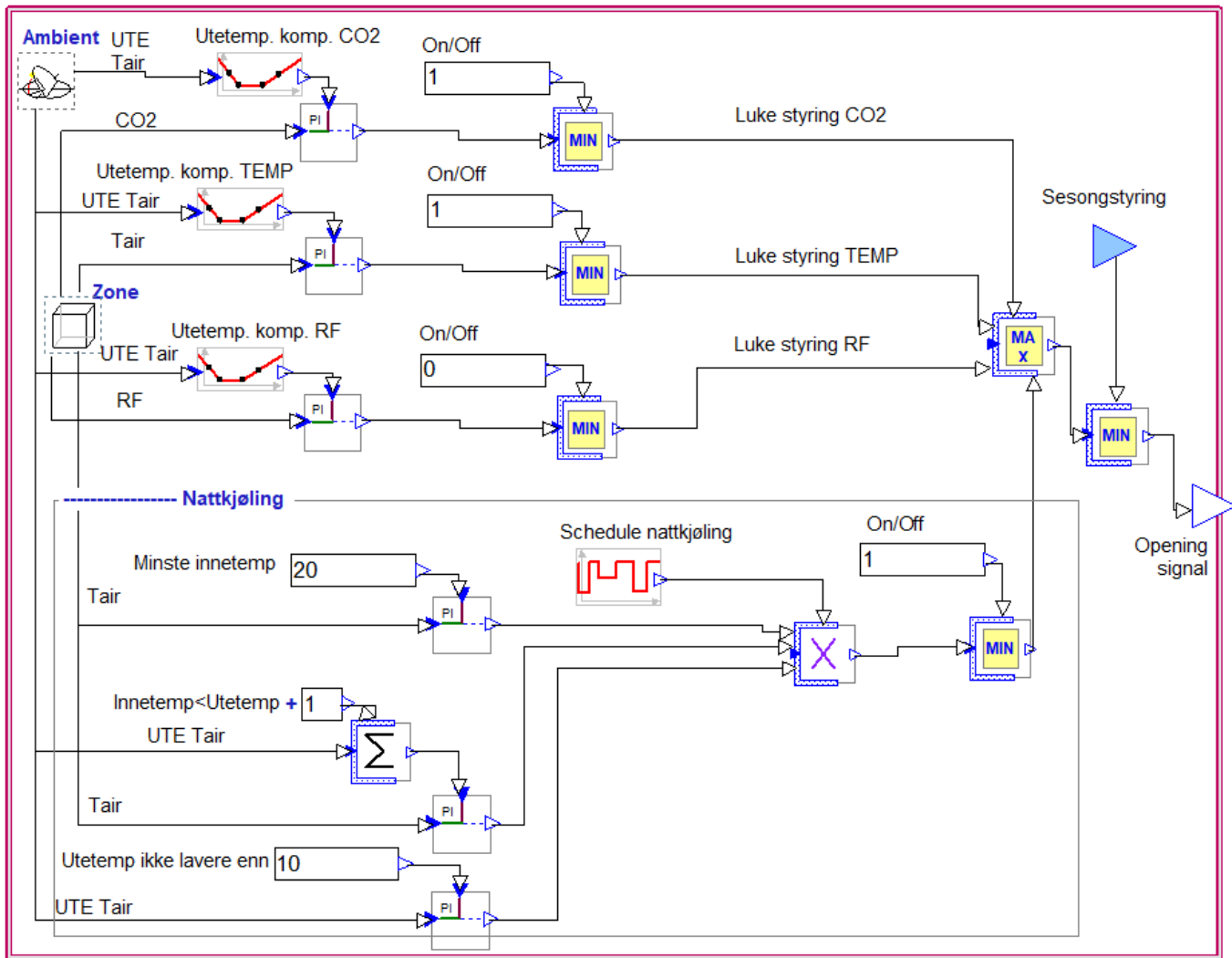
tilnærming i tidligfase, men i detaljprosjekt og ved oppsett av styring bør en tilstrebe høyere detaljeringsgrad her.

Styring av åpninger

Ved simulering bør en tilstrebe at styringen som simuleres er av samme type som en forventer at brukes i praksis. IDA ICE inkluderer predefinerte styringsmekanismer for luker basert på innnetemperaturer og driftstid, men det er også mulig å lage egne styringer. Vi i Erichsen & Horgen har f.eks. lagd en egen styring som kan styre luker etter enten CO_2 , innnetemperatur eller luftfuktighet, men som også inkluderer nattventilering og sesongstyring. En kan lett tenke seg at en slik styring kan utvides med andre relevante parametere som maksimal luftskifte for rommet, eller at maksimal åpning varierer med vindhastigheten utenfor.

Vurdering av resultatene

En bør gjøre en helhetsvurdering av resultatene, og ta dypdykk i elementer som hastigheter i åpninger, luftskifte i



Figur 3: Eksempel på styring av luker

åpninger, nødvendige varmeeffekter, faren for trekk med mer. På dette stadiet er det nyttig å verifisere enkelte resultater opp mot enklere håndberegninger og tommelfingerregler, slik en får en følelse av om resultatet er korrekt.

Ved avsluttet kvalitetssikring av inndata og en vellykket simulering bør en avslutte med en analyse av hvilke parametere som en vurderer at har størst usikkerhet. Dette kan være elementer som interne varmelaster, brukstider, åpningsstørrelse, Cp-verdier, ønskede innetemperaturer m.m. En slik analyse vil kunne gi indikasjoner på hvor robust resultatet er for endringer i bruk, samt hvilke parametere en bør legge mer arbeid i å verifisere.

Bemerk at en beregning i IDA ICE vil kunne gi lokale resultater for operativ temperatur, men gir ikke innblikk i lufthastighet i oppholdssonen. Ved bruk av naturlig ventilasjon i Norge, og da særlig i vinterhalvåret, bør en vurdere å

kjøre en mer detaljert strømningsanalyse i et CFD-program og/eller sette opp fullskalaforsøk som er identiske med de rom en planlegger.

Avslutningsvis

Simulering av inneklime i lokaler med naturlig ventilasjon krever både mer kompetanse hos de prosjekterende og at de bruker bedre verktøy til oppgaven. Vi har her gitt et overblikk over utvalgte hovedelementer i slike vurderinger, hvilke parametere en bør være særlig oppmerksomhet, samt hvordan slike simuleringer kan kvalitetssikres.

Det er viktig å ha i mente at simuleringene representerer en forenklet tilnærming til virkeligheten, og at en ikke kan utføre beregninger uten å kjenne til hvilke begrensninger disse tilnærminger har. Dermed kan beregninger som disse kun utføres av operatører som har dybdegående forståelse for mekanismene bak og hvorledes disse er modellert i programmet som brukes.

Nye konsepter for akustikk og termisk masse

En av de mest åpenbare tiltakene for naturlig klimatisering av kontorbygg er å utnytte den termiske massen som allerede ligger i bygningskonstruksjonen bedre. For å få til det må en del praktiske hindringer overkommes, som for eksempel akustisk dempning. I denne artikkelen deles prosjektets erfaringer rundt dette.

Tekst: Niels Lassen, Skanska

Bakgrunn

I norsk klima er det behov for energibruk til både oppvarming og kjøling av bygg. I moderne kontorbygg, med god isolasjon og høye internlaste, kan kjølebehovet i noen tilfeller nærme seg varmebehovet i størrelse, og kjølesesongen kan strekke seg langt utover høst og vår.

Byggets utforming, bruk og termiske karakteristikk har imidlertid stor betydning for hvor mye kjøling og oppvarming som trengs. Påvirkende faktorer er:

- Termiske laster (utstyr, personer, soltilskudd)
- Krav (inneklimate)
- Termisk masse
- Termisk stratifisering og romhøyde
- Ventilasjons- og automasjonskonsept
- Varme/kjølekonsept

Med naturlig klimatisering menes løsninger der oppvarming, kjøling, ventilasjon og belysning av bygget gjøres så langt som mulig uten bruk av aktiv teknologi som krever tilført energi. Smarte passive løsninger basert på naturlige drivkrefter for luftstrømning og varmetransport, termisk lagring, samt optimal utnyttelse av internlaste, solvarme og dagslys, brukes for å klimatisere bygget. Konsepter for naturlig klimatisering kan jevne ut byggets behov for tilført energi til oppvarming og kjøling, og dermed føre til en betydelig reduksjon i energibehovet. Utnyttelse av termisk lagring, også

kalt termisk masse, medfører at tunge bygningskonstruksjoner som betong, tegl og naturstein må eksponeres til innemiljøet. Eksponering av store arealer av termisk masse betyr i de fleste tilfeller at omfanget av absorberende materialer (mineralull, lydabsorbenter etc.) må reduseres. Det ligger derfor betydelige utfordringer i å finne løsninger som kombinerer akustiske krav med eksponerte tunge konstruksjoner ved naturlig klimatisering av kontorbygg. I prosjektet Naturligvis er det tatt i bruk nye konsepter for naturlig klimatisering i flere pilotbygg. Det er utført et betydelig og banebrytende arbeid gjennom både forskning, utvikling og tverrfaglig prosjektering for å løse de praktiske utfordringene med å tilfredsstille krav til akustikk i kombinasjon med naturlig klimatisering.

Termisk masse

Termisk masse betegnes som evnen et materiale har til å lagre termisk energi. Alle materialer har denne evnen, i større eller mindre grad. Rent vitenskapelig er termisk masse det samme som termisk kapasitans, eller varmekapasitet. Varmekapasiteten betegnes gjerne C_{th} og kvantifiseres gjerne i J/K eller Wh/K, som angir hvor mye energi som trengs for å heve temperaturen en grad for en viss mengde materiale. I bygg benyttes effektiv varmekapasitet Wh/m²K, der m² er eksponert areal av materialet. I hele bygg benyttes også effektiv normalisert varmekapasitet Wh/m²K, der m² er sonens gulvareal.

Effektiv varmekapasitet omtaler ikke hele den termiske massen i bygget, men kun den termiske massen som vil kunne «aktiviseres» i løpet av en døgnsvingning av innetemperatur. Det vil si at tunge bygningskonstruksjoner med høy termisk masse, men som ikke er i direkte kontakt med romluften, ikke vil ha noe effektivt bidrag. Man kan si at den termiske massen i slike konstruksjoner er «isolert bort» fra å kunne bidra til byggets effektive varmekapasitet. Et betongbygg med innvendig isolasjon vil for eksempel ha lav effektiv varmekapasitet, mens et betongbygg med utvendig isolasjon vil ha høy effektiv varmekapasitet. Alle materialer som er eksponert mot inneklimate vil ha en effektiv normalisert varmekapasitet, og mengden avhenger av den spesifikke varmekapasitet til materialet, akkumuleringstykkelsen eller materialsjiktets virkelige tykkelse. Den effektive akkumuleringstykkelsen bestemmes ut fra en rekke kriterier, både materialenes varmeledningsevne, varmekapasitet og hvordan konstruksjonen er bygget opp. Den effektive varmekapasiteten følger av både akkumuleringstykkelsen og den spesifikke varmekapasiteten. Tabellen under viser akkumuleringstykkelse og effektiv varmekapasitet for noen kjente materialer eksponert mot inneklimate.

Dette betyr at mengden termisk masse som er eksponert mot innemiljøet i et bygg vil påvirke evnen til å oppta, lagre og avgi varmeenergi og dermed ha en temperaturutjevne effekt på innemiljøet.

Materiale	Akkum. tykkelse (mm)	Effektiv varmekapasitet Wh/m ² K
Furu/Gran	39	12
Sponplate	42	3 (12 mm plate)
Gipsplate	59	2 (12 mm plate)
Betong	102	63
Teglmur	81	35
Lettklinker	64	14
Gulvteppe(ull)	55	19 (10mm på betong)
Stål	416	
“Åpent” akustisk himling under betongdekke		30
“Tett” akustisk himling under betongdekke		10

Tabell 1: Akkumuleringstykkelse og effektiv varmekapasitet for noen kjente materialer og konstruksjoner. Kilde: Programbyggerne.no



Figur 3: Eksempel på ulike lastprofiler i kontorbygg.

Fra dagliglivet kjenner vi igjen effekten av termisk masse for eksempel ved at kjellere og rom med mye eksponert betong, mur eller naturstein er kaldere på dagtid enn andre rom.

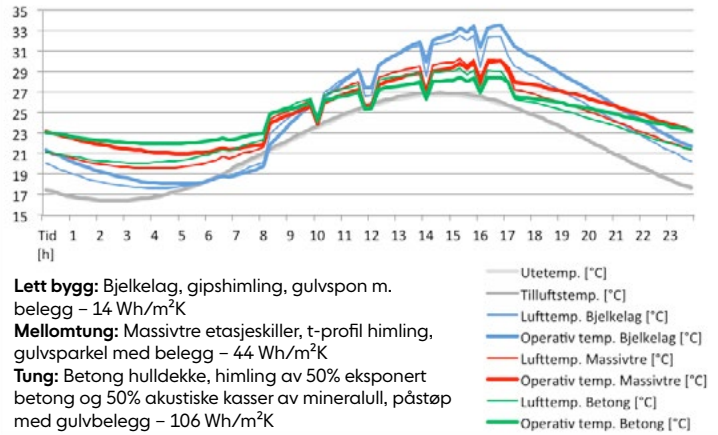
Vi ser av figur 1 at forskjellen mellom lett og mellomtungt bygg er stor, mens forskjellen mellom mellomtungt og tungt er mindre. De tunge alternativene har høyere temperatur på natten og betydelig lavere temperatur på dagen – de har altså en temperaturutjevne effekt.

Effekten av termisk masse medfører stor forskjell i innetemperatur over døgnet. Dersom vi hadde sett for oss at bygget hadde et kjøleanlegg med et visst termostatstyrt settpunkt, kan effekten av termisk masse utgjøre forskjellen på om kjøleanlegget må starte eller ikke. Eller i en designsituasjon kan effektiv varmekapasitet utgjøre forskjellen på

om det må installeres et kjøleanlegg eller ikke. Dersom man derimot hadde kjøle- og varmeanlegg og brukte dette til å holde temperaturen i rommet konstant gjennom døgnet, ville effekten av termisk masse ha vært liten. Grunnen er at den termiske massen er avhengig av temperaturforskjeller gjennom døgnet for å avgi varme om natten og oppta varme om dagen og jevne ut temperaturen.

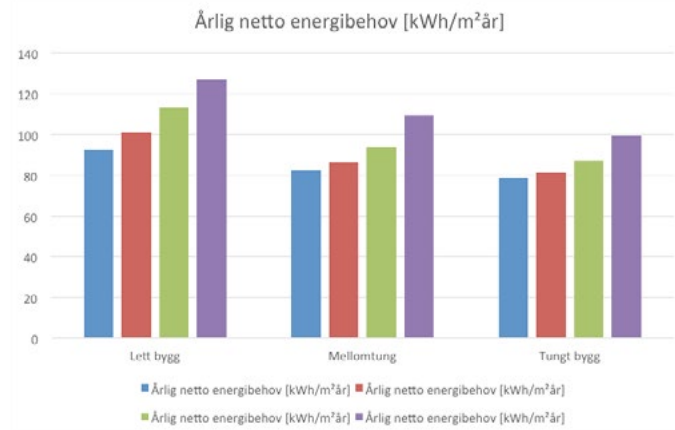
Figur 2 viser netto årlig energibehov for det aktuelle rommet med de tre ulike nivåene av termisk masse kombinert med ulike temperaturspenn.

Utnyttelsen av termisk masse er også avhengig av svingningene i varmelastene i bygget. Det er svingninger i varmelaster fra personer, utstyr, sol og omgivelser som utgjør forskjellen på natt og dag. De eksakte varmelastene er vanskelige å forutse,



Lett bygg: Bjelkelag, gipshimling, gulvspen m. belegg – 14 Wh/m²K
Mellomtungt: Massivtre etasjeskiller, t-profil himling, gulvsparkel med belegg – 44 Wh/m²K
Tungt: Betong hulldekke, himling av 50% eksponert betong og 50% akustiske kasser av mineralull, påstøp med gulvbelegg – 106 Wh/m²K

Figur 1: Temperaturforløp over døgnet på varm sommerdag i klasserom i Oslo uten kjøling med ulike mengder effektiv termisk masse. Det er antatt vinduslufting i friminuttene. Beregningene er gjort i SIMIEN.



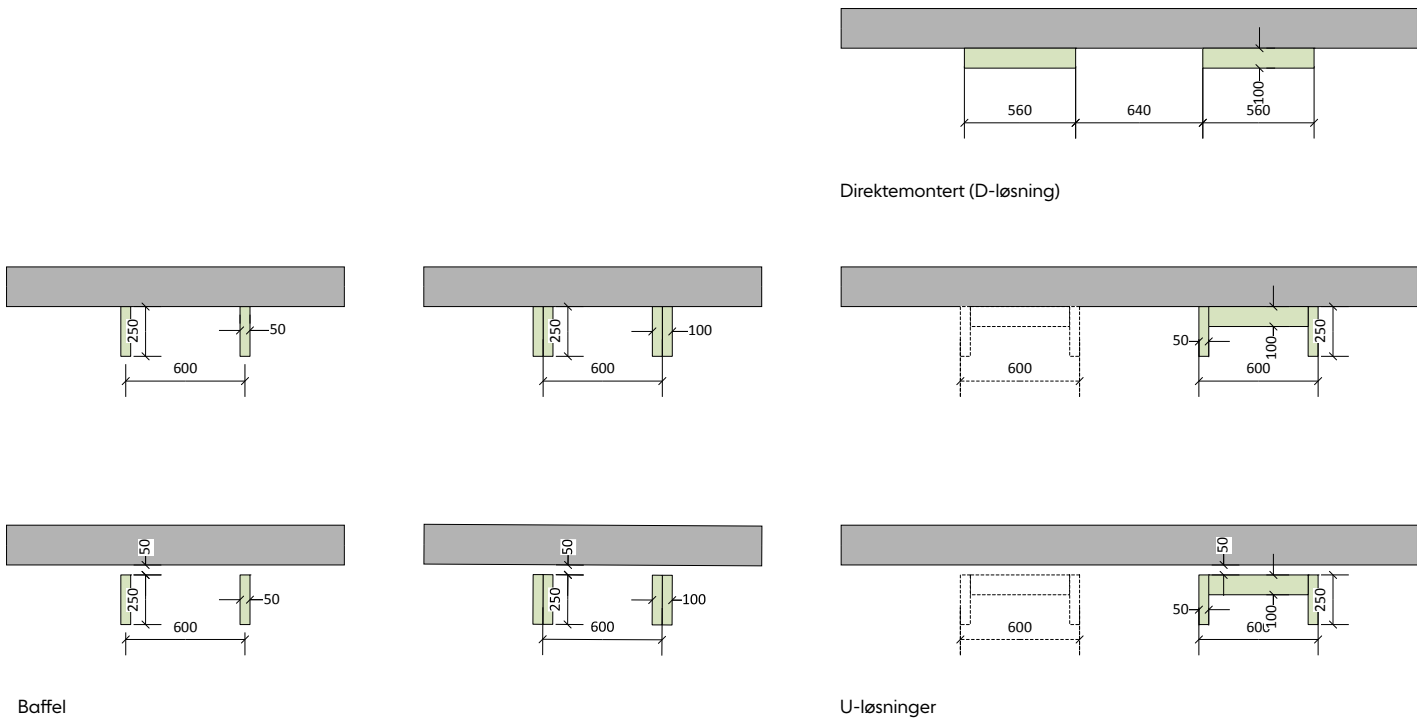
Figur 2: Årlig energibehov for identisk klasserom i Oslo ved ulik termisk masse og krav til innetemperatur. Beregningene er gjort med VAV ventilasjon med kjølebatteri og frikjøling/nattventilasjon på varme dager, og uten nattsenkning av temperaturen. Beregningen er gjort i SIMIEN.

og i beregninger som den over antas gjerne døgngjennomsnittlige laster. I virkeligheten svinger lastene mer, som vist i figur 3.

Romakustikk

Byggeforskriften (TEK-10) har skjerpede krav til lyd demping. De skjerpede kravene gjelder i alle nye publikums- og arbeidsbygninger i Norge og er satt for å ivareta krav om Universell Utforming. De spesifikke grenseverdiene til akustisk demping for ulike bruksformål er beskrevet i revidert NS 8175 (2012) og angitt som preaksepterte ytelser for å oppfylle byggeforskriften.

En mye brukt løsning for å oppfylle byggeforskriftene i rom med normal tak høyde, er å etablere en heldekkende lydabsorberende himling. Løsningen er blitt benyttet i mange år i form av T-profil systemer med mineralullplater. Man har derfor lang og bred erfaring



med slike løsninger og vet med sikkerhet at løsningen reduserer støynivået i rommet og bidrar til å oppnå et godt lydmiljø og tilfredsstillende taleoppfattbarhet.

De preaksepterte ytelsene for romdemping, angitt med krav til etterklangstid, passer godt for tradisjonelle rom som kontorer og møterom, og gir erfaringsvis passende demping i korridorer og fellesarealer. Før TEK-10 skilte man ikke mellom oppholdsrom i kontorer (cellekontor/ møterom/landskap). Nå har man skjerpet kravene til romdemping i landskap, og dempingskravet er et av de strengeste lydkravene i forskriften. Det er valgt å angi grenseverdier som en høydejustert krav til etterklangstid. Undersøkelser og erfaringer viser at man dessverre sjelden tilfredsstiller de skjerpede kravene til etterklangstid i kontorlandskap for nybygg, der ønske om stor takhøyde, mye dagslys og arealeffektive områder har prioritet, selv med heldekkende lydabsorberende himling. Vi diskuterer ikke videre denne problemstillingen her, men det gir prosjektet utfordringer fordi det allerede er vanskelig å oppfylle krav til landskap med tradisjonelle løsninger.

Forskning de senere årene har vist at etterklangstid ikke er dekkende for å oppnå gode forhold i kontorlandskap. Ut over krav til etterklangstid angir NS 8175 derfor anbefalinger til ytterligere akustiske størrelser for å vurdere lydforhold i kontorlandskap, men disse er kun angitt som informative

grenseverdier. Den mest aktuelle størrelsen vil være avstandsdemping. Mens etterklangstiden angir hvor lang tid det tar for en lyd å dempes, vil avstandsdempingen angi hvor langt unna man må for å få en lyd til å dempes. Sistnevnte er derfor godt egnet som en målbar størrelse for kontorlandskap.

Både TEK-10 og TEK-17 angir at forskriften kan oppfylles ved bruk av preaksepterte ytelsener, eller ved bruk av analyse. Ved å sammenlikne avstandsdempingen i et tradisjonelt kontorlandskap med kontorlandskap der det benyttes andre løsninger tilpasset naturlig klimatisering og eksponert termisk masse, vil man få et godt sammenlikningsgrunnlag for å vurdere om funksjonen i byggeforskriften er oppfylt. Beregninger og målinger i dette prosjektet viser at det er mulig å oppnå sammenliknbar avstandsdemping i lokaler med delvis eksponerte dekker som med heldekkende lydabsorberende himlinger.

Ønske om inntil 50 prosent av himlingsarealet som eksponert betong kommer i konflikt med preaksepterte ytelsener for akustisk demping. Det er mulig å kompensere for manglende lydabsorberende materiale i himling ved å etablere lydabsorberende vegger, men i praksis har man begrenset med areal. Et nyttig konsept for himling er å lage usammenhengende former, der man oppnår mer overflateareal på grunn av eksponerte sidekanter. Da kan mye av betongtaket eksponeres, samtidig som mye av lydempingen

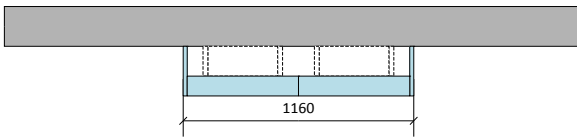
man trenger i himlingen opprettholdes. Bruk av absorberter med tykkelse på under 50 mm har vist ikke å gi tilstrekkelig demping i lave lydfrekvenser. Basert på målinger av tykkere absorberter er det i dette prosjektet vist at det er mulig å løse dette. Videre er det vist at det er mulig å oppnå tilsvarende etterklangstid og avstandsdemping med inntil 50 prosent eksponert betong i himling som hva man i praksis kan forvente å oppnå i tilsvarende moderne kontorlandskap med heldekkende T-profil himling.

Se for øvrig rapport AP1-R03 *Dokumentasjon av akustiske forhold ved eksponert betong og AP1-R04 Måling av absorpsjonsegenskaper for himlingsabsorberter for eksponert termisk masse.*

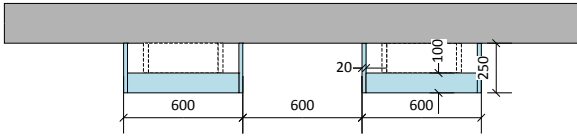
ANBEFALTE LØSNINGER OG PRODUKTER

Praktisk tilnærming til økt termisk masse i kontorbygg

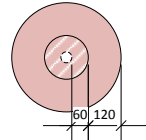
Moderne kontorbygg i Norge bygges gjerne med bæresystem av stål, dekker av betong (hulldekker), lette vegger kledd med gips, nedsenket akustisk himling og gulvbelegg eller teppe på gulvet. Denne konstruksjonstypen har betydelig termisk masse, først og fremst i hulldekker og påstøp. Den termiske massen er imidlertid oftest isolert fra innklimaet av akustisk himling og teppegulv. Den effektive varmekapasiteten kan i disse tilfellene økes med enkle grep – å fjerne akustisk himling og erstatte teppe med en gulvoverflate som isolerer mindre. En



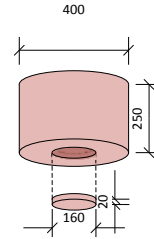
Boks 120



Boks 60



Sylinder



slik løsning øker også himlingshøyden i rommet, som fører til bedre romfølelse, større romvolum, større stratifisering av temperatur og forurensninger i rommet samt mulighet for høyere vinduer og større dagslysinnslipp. Disse tilleggskvalitetene er også i tråd med prinsippene for naturlig klimatisering og fører til lavere energibruk og bedre brukeropplevelse.

Heldekkende akustisk himling og trinndempende tepper er svært viktige tiltak for å oppnå et godt akustisk miljø. Krav til akustiske forhold i kontorbygg, gitt i standard NS-EN 8175 setter klare grenser for etterklangstid. Det viser seg vanskelig å tilfredsstille kravene uten heldekkende himling, og det er som nevnt gjort et betydelig arbeid i dette prosjektet for å finne løsninger som både tilfredsstiller krav til akustikk og ønske om termisk masse.

Absorbenter med dokumentert ytelse

Ytelsen til noen utvalgte typer absorbenter tilpasset eksponert termisk masse har blitt testet i SINTEFs laboratorier. Felles for alle typene er at de har større tykkelse enn standardproduktene som leveres i dag for å øke absorpsjonen i bassområdet. Det er også lagt vekt på å unngå støvansamling oppå absorbentene, samt at maksimal høyde fra dekke til nedkant absorber er mindre enn 300 mm for å unngå behov for branndeteksjon og sprinkler mellom hver absorberent.

Målingene viste at «Baffel», «Direktemontert», «Boks» og «U» har bedre egenskaper enn «Sylinder». Dette skyldes at de har et større eksponert areal. 600 mm «Kasse» viste seg å være løsningen med best absorpsjonsegenskaper. Denne løsningen er i tillegg enkel å montere i et standard T-profilssystem, relativt estetisk og gir mulighet for å føre kabler og rør for sprinkler i hulrommet.

Beregninger gitt i rapporten AP1-R02 Løsninger for utnyttelse av termisk masse viser at ca. 50 prosent av himlingsarealet må dekkes av absorbenter, i tillegg til noe absorbenter på vegger for å tilfredsstille dagens krav. Se rapport AP1-R02 Løsninger for utnyttelse av termisk masse.

EKSEMPLER PÅ ROMLØSNINGER FOR KONTORLANDSKAP

Kasse 120

Løsningen består av Boks 120 absorbenter som dekker 50 prosent av himlingsarealet med retning perpendikulært på yttervegg. Løsningen gir god mulighet for tekniske føringer på tvers av rommet, samt gode dagslyforhold og god romfølelse. Den viste løsningen tilfredsstiller dagens støykrav, men dette vil være individuelt avhengig av det enkelte rom.

Sylinder / Rur

Løsningen består av punktabsoberenter i himlingen. Under test i laboratoriet dekket absorbentene 22 prosent av himlingen. Som designet under er de

tenkt samlet over områder med større støyproduksjon, og supplert med absorbenter på vegger og møbler. Estetisk er løsningen inspirert av rur. Det er ikke dokumentert at løsningen med omfang absorbenter som vist i interiørbildet av Nydalen Vy på side 17 tilfredsstiller dagens støykrav, men beregninger viser at kravene kan tilfredsstilles dersom ca 50 prosent av himlingsarealet dekkes av absorbenter.

Opplimte plater

Opplimte plater i himling kan gi et godt utseende. For å tilfredsstille dagens støykrav må absorbentenes tykkelse være minimum 100 mm og andelen absorbenter må trolig økes til noe over 50 prosent.

Rasterhimling

Det er også mulig å skjule betong-himlingen med en rasterhimling med overliggende vertikale akustiske baffler. Fordelen med dette er at man får en himling med jevnt og slett utseende, samtidig som absorbenter, betong og tekniske føringer skjules. Det kan da stilles mindre krav til utførelsen av himlingen over rasteret. Denne utformingen har vesentlig høyere kostnader.

Kostnader

Merkostnaden for denne typen løsninger for eksponert termisk masse i himling har i enkelte tilfeller vist seg å være svært stor. Dette skyldes hovedsakelig den meget lave kostnaden for standard nedsenket himling, som i enkelte tilfeller kan være under 200 kr/m². I tillegg kommer kostnader for absorbenter på vegg, mer krevende koordinering av teknikk i himling samt sparkling og maling av betonghimling. Nedenfor vises et prisoverslag gjort med bakgrunn i konkrete tilbud for en Boks 60 løsning. Legger man dette overslaget til grunn, er merkostnaden for 50% eksponert betong i himling ca. 150-200 kr/m².

PRISEKSEMPEL MERKOSTNAD 50% EKSPONERT BETONG I HIMLING		
	Pris himling med termisk masse	Pris vanlig T-profil
% absorberent i himling	50 %	100 %
Pris absorberent t-profil [kr/m ²]	469	200
Pris malt betong [kr/m ²]	120	
Pris absorbenter vegg [kr/m ²]	450	
Absorberent vegg andel av himling	18 %	0
SUM [kr/m ²]	376	200

LowEx – høyeffektiv termisk energiforsyning i nullenergibygget

I pilotprosjekter som HouseZero og Nydalen Vy har det vært ønske om installasjoner som ikke ses og som ikke høres, og som i tillegg har ekstremt høy energiytelse. Forskningsprosjektet LowEx er initiert på bakgrunn av denne visjonen.

Tekst: Maria Lejsgaard Myrup, Skanska

PROSJEKTOPPLYSNINGER	
Navn:	LowEx – høyeffektiv termisk energiforsyning i nullenergibygget.
Finansiert av:	Norges forskningsråd (ENERGIX-programmet) og egeninnsats fra partnerne i prosjektet.
Ledet av:	Skanska Norge AS
Andre partnere:	Lund Universitet, Avantor, Omsorgsbygg Oslo KF, ABK AS og NIBE AB.
Prosjektperiode:	2017–2019 (3 år)

Mål for prosjektet

Etterspørselen etter bærekraftige og energieffektive bygg med innovative, smarte løsninger er i sterk vekst. Bygninger som i drift produserer like mye eller mer energi enn de bruker, vil bli et sentralt bidrag til å redusere energibruken på verdensbasis – og dermed også til å redusere klimagassutslippene. Prosjektets overordnede idé er å utvikle nye total-konsepter for termisk energiforsyning i nullenergibygget og plusshus, med ytelse som er 2 til 2,5 ganger bedre enn dagens state-of-the-art.

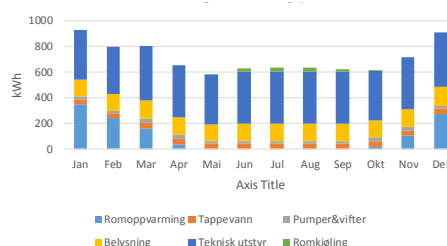
Ambisjonen er å utvikle løsninger som har:

- Årsvarmefaktor for oppvarming («Seasonal Coefficient of Performance», SCOP) på 8–10. Det vil si at for hver kilowatt elektrisitet som tilføres varmpumpesystemet avgis 8 til 10 kWh varme til bygget.
- Årskjølefaktor for kjøleforsyning («Seasonal Energy Efficiency Ratio», SEER) på 80–100. Det vil si at for hver kilowatt elektrisitet som tilføres kjølesystemet avgis 80 til 100 kWh kjøling til bygget.

Fordeler med LowEx

I bygg der man ønsker forenklede ventilasjons- og klimatiseringsløsninger med f.eks. naturlig- eller hybrid-ventilasjon og uten automatisk/bevegelig utvendig solavskjerming, vil både varmebehovet og kjølebehovet kunne være høyere enn konvensjonelle bygg. For å kunne nå energimålsetninger som nesten-nullenergi eller plussushusnivå er det da behov for et supereffektivt energiforsyningssystem som gir lavt behov for levert energi til oppvarming og kjøling.

Resultatet av denne typen supereffektiv termisk energiforsyning er at levert energi til varme- og kjøling i et nesten-nullenergi- (NZEB), nullenergi- (ZEB) eller plusshus blir ekstremt lav. Typisk i størrelsesorden 3 til 5 kWh/m² år. En annen konsekvens av denne type løsninger er at vi får et tilnærmet konstant behov for levert energi over året. Netto energibehov for oppvarming og kjøling (samlet) varierer fra ca. 200 til 2000 kWh, dvs. en variasjon på ca. 1000 prosent. Men totalt levert energi (for alle energiposter) varierer ikke mer enn mellom 600 til 900 kWh i de ulike månedene, dvs. en variasjon på i underkant av 60 prosent.



Figur 1: Levert energi for alle energiposter for et lite kontorbygg.

Systemoptimalisering

For å nå de meget høye målsetningene i prosjektet er det avgjørende å analysere bygget, varme/kjøleavgivelsen, energisentralen og energikildene som et integrert system. Hele dette systemet må optimaliseres for å få ekstremt høy ytelse.

Mer konkret oppnås dette gjennom:

- optimal utforming og dimensjonering av energibrønner
- optimal design av varmpumpe- og varmevekslersystemet
- optimal utforming og design av varme- og kjøleavgivelsesystemet i bygget, inkludert distribusjonssystemet
- optimalisering og balansering av varme- og kjølebehovet til bygget

Den viktigste nyskapingen i prosjektet er å sette sammen og optimalisere allerede kjente og utprøvde løsninger. I tillegg vil det måtte gjennomføres optimalisering, videreutvikling og forbedring av eksisterende løsninger, produkter og enkeltkomponenter. Eksempler på dette er videreutvikling og tilpasning av varmpumpeteknologi, pumpeteknologi, løsninger for avgivelse av varme og kjøling, styringssystemer og prinsipper for oppvarming og kjøling samt metoder for dimensjonering og balansering av oppvarming og kjøling av bygg. Den høye målsetningen vil også føre til modifisering og forbedring av eksisterende løsninger, produkter og enkeltkomponenter (eksempelvis videreutviklede varmpumper som kan utnytte de meget lave temperaturløftene vi vil oppnå i prosjektet).

Omfang og arbeidspakker

Prosjektet har hovedfokus på nye bygninger, men løsninger og resultater kan også brukes ved rehabilitering og hovedombygging. Løsningene som utvikles vil være aktuelle både i yrkesbygg som kontorer, skoler og barnehager, men vil også være aktuelle i boligbygg og omsorgsbygg. Løsningene vil kunne brukes for bygg av alle størrelser, men vil være mest anvendbare og lønnsomme i bygg fra 500 m² og større.

Prosjektet er delt inn i fem arbeidspakker for å nå prosjektets målsetning, se også figur 3:

1. AP1 – Energibrønnsystem

Utforming og optimalisering av energibrønnsystemet for varmeopptak og varmedumping, samt optimal brinepumpedrift.

2. AP2 – Varmepumpe og varmevekslersystem

Utforming og optimalisering av varmepumpe- og varmevekslersystem tilpasset utnyttelse av lave temperaturløft.

3. AP3 – Varme- og kjøleavgivelsessystem

Utforming og optimalisering av varme- og kjøleavgivelsessystem i bygget for å varme opp med lave temperatur og kjøle med høy temperatur, og minimalisere distribusjonstap og energibruk til sirkulasjonspumper.



Figur 2. Lia Barnehage. Barnehage bygget på Ellingsrud i Oslo, med plusshus-standard.

4. AP4 – Varme- og kjølebalanse for bygget

Utforming av bygget for optimalisering av varme- og kjølebehov til riktig nivå, og slik at det er tilnærmet balanse i varme- og kjølebehov over året.

5. AP5 – Pilotbygg

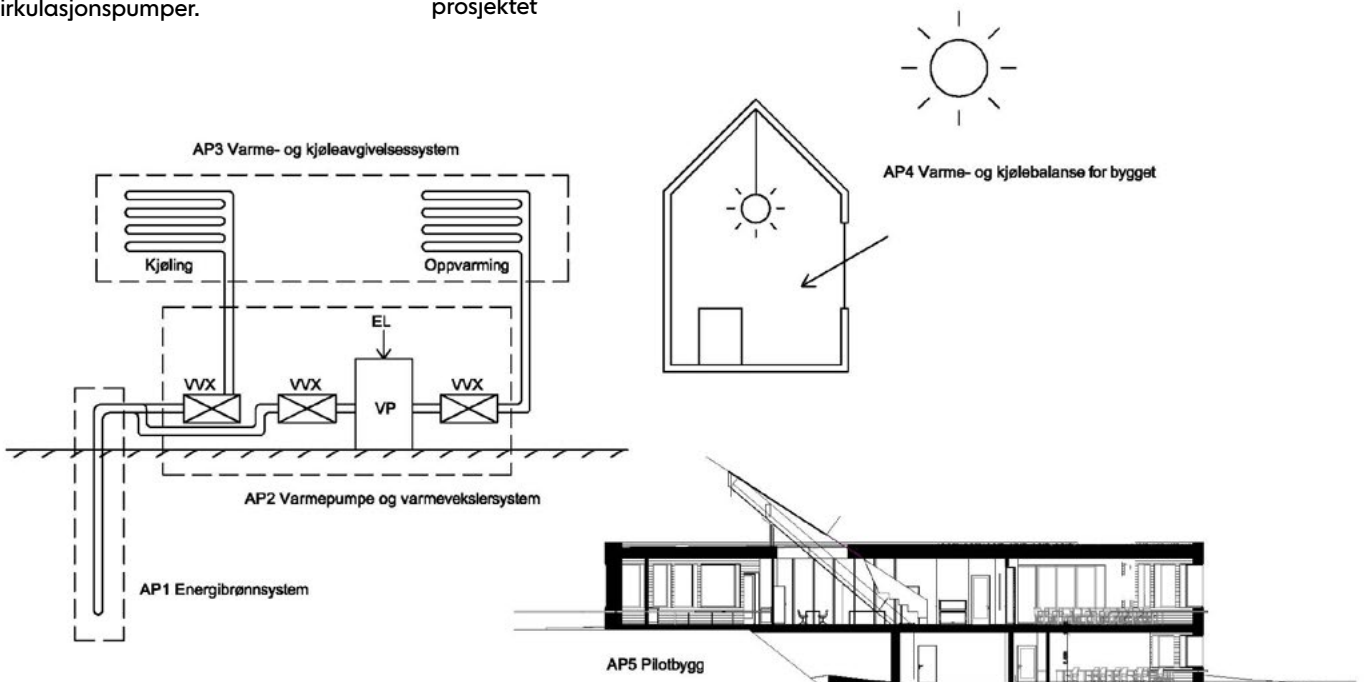
Pilotbygg for uttesting av løsninger fra de fire andre arbeidspakkene.

Det er foreløpig fire pilotprosjekter koblet til LowEx-prosjektet: Nydalen Vy, HouseZero og Drøbak Montessori ungdomsskole som er beskrevet i andre kapitler i denne rapporten.

I tillegg er Lia Barnehage, som Omsorgsbygg er byggherre for og som Skanska Husfabrikken har oppført, et pilotprosjekt. Barnehagen er på ca. 1500 m² og ble tatt i bruk fra januar 2018. Bygget har LowEx-løsninger med gulvarme/gulvsvaling, geovarmepumpe og energibrønner. Bygget ventileres med lavtrykk taps fortrenningsventilasjon. Solceller på tak gjør at barnehagen skal produsere mer solstrøm enn den bruker regnet over et år.

Partnere og pilotprosjekt

LowEx-prosjektet er ledet av Skanska Norge. Andre partnere i prosjektet er Avantor (utbygger), Omsorgsbygg Oslo KF (byggherre), ABK AS (varmepumpeleverandør) og NIBE AB (varmepumpeprodusent). Lund Universitet er forskningspartner i prosjektet



Figur 3. Skjematisk illustrasjon av arbeidspakkene i prosjektet. Pilotbygg illustrert ved Powerhouse Drøbak Montessori ungdomsskole, en av pilotene i prosjektet.

Inneklima ved naturlig klimatisering – nytt fra forskningsfronten

Norske forskriftskrav, standarder og praksis i bransjen stiller stringente krav til inneklimate. Ofte løses kravene best med bruk av aktive mekaniske klimatiseringssystemer, fremfor naturlig klimatisering. Opplevd luftkvalitet og termisk komfort henger sammen med temperatur, fuktighet, CO₂-nivå, og psykologiske faktorer, og senere forskning viser at bildet er mer nyansert enn hva som kommer til uttrykk i norske krav.

Tekst: Niels Lassen, Skanska

Bakgrunn

Bygninger har til formål å skape trygge, komfortable og funksjonelle rom der vi mennesker kan utøve vår virksomhet. Inneklimate er sentralt i denne sammenhengen, da inneklimate påvirker både komfort, helse og produktivitet hos brukerne. Inneklimate deles gjerne i termisk inneklimate (varme) og atmosfærisk inneklimate (luftkvalitet).

Naturlig klimatisering stiller i noen tilfeller andre krav til inneklimate enn konvensjonelle løsninger, men innbyr også til at inneklimate i bygg kan ses på i et nytt lys som kan gi økt komfort og helse for brukeren. Som nevnt i kapitlet om termisk masse og akustikk kreves det at man tillater naturlige svingninger i inneklimate for at lagringseffekten i den termiske massen kan utnyttes fullt ut. Videre kan prinsipper som overstrømning av ventilasjonsluft og naturlig ventilasjon vinterstid i Norge kreve at ventilasjonsluftmengden må reduseres noe for å unngå trekk.

INNLEDNING

Termisk inneklimate

Dagens praksis for bestemmelse av termisk inneklimate i norske yrkesbygg er i stor grad basert på P.O. Fanger sin teori om at termisk komfort oppstår når mennesket er i termisk likevekt med omgivelsene under stasjonære forhold. Ut ifra bekledding og aktivitetsnivå kan man beregne den ideelle nøytraltemperaturen for en gruppe

mennesker, forutsatt at lufthastighet, strålingstemperatur og luftfuktighet holdes lik. Slik beregner man en optimal temperatur i rommet, og designer deretter for å holde inneklimate lik denne under alle klimaforhold. Det er også vanlig å anta noe sesongadapsjon for bekledding, som fører til at optimaltemperatur for sommer kan være høyere enn for vinter.

Fra en mengde forsøk i klimakammer utledet Fanger en «komfortligning» der nøytraltemperaturen til et gjennomsnittsmenneske kan beregnes for bestemte forhold. I tillegg introduserte han en skala for å indikere avstanden fra nøytraltemperaturen, den såkalte PMV-skalaen (Predicted Mean Vote). For å indikere spredningen i avvikene fra den representerte «gjennomsnittspersonen» i en normal gruppe mennesker ble det også gitt en kurve som angir antall misfornøyde ved ulike PMV, den såkalte PPD-indeksen (Predicted Percent Dissatisfied). Metoden antar stasjonære forhold, som vil si at det forutsettes at temperaturen og andre forhold holdes lik over tid.

Arbeidet til Fanger ligger til grunn for standardene ISO 7730 og NS-EN 15251, som igjen ligger til grunn for norske forskrifter.

Feltmålinger av opplevd termisk komfort i virkelige bygg (bl.a. ASHRAE RP-884 databasen) viser at brukere er tilfredse med temperaturer godt over det som

forutsettes av metoden til Fanger (Brager, De Dear). Dette gjelder først og fremst i situasjoner med høye utetemperaturer og der brukeren har mulighet til å åpne vinduet selv. Derfor ble det i 1998 utviklet en «Adaptiv komfort»-metode for bruk i bygg med naturlig ventilasjon. Denne er inkludert i NS-EN 15251 for bruk på bygg uten kjøling. Forskning på brukers oppfattelse av temperatur i virkelige bygg har også avdekket at brukerne er betydelig mer fornøyd med inneklimate i bygg med naturlig ventilasjon, og dette til tross for at de fysiske forholdene i henhold til Fanger sine teorier er dårligere (Hellwig, Brager, Oseland). Forskningen antyder at en fast «nøytraltemperatur» ikke nødvendigvis er det som virker mest tilfredsstillende på mennesker, og at psykologiske faktorer spiller en langt større rolle enn hva som forutsettes i Fangers metode. Det har ikke vært mulig å identifisere og kvantifisere hvilke psykologiske faktorer som er viktigst, men påvirkingsmulighet, forventninger og kontakt med uteklimate nevnes av flere som avgjørende faktorer (Hellwig, Arens, Brager).

Relevante forskningsfunn og potensielle årsaker til ulikhetene mellom beregnet og virkelig opplevd komfort er gitt i neste kapittel.

Atmosfærisk inneklimate

Når det gjelder luftkvalitet baseres dagens praksis på forskning som viser at både opplevd luftkvalitet, helse og produktivitet er best når CO₂-nivået i

luften holdes under 1000 ppm. I tillegg dimensjoneres det gjerne for utlufting av emisjoner fra materialer. Regelverket har til hensikt å sikre tilstrekkelige luftmengder for helse, produktivitet og komfort. Følgende faktorer har størst påvirkning på disse:

Helse:

- Emisjoner fra materialer og uteluft påvirker helsen vår, først og fremst i form av VOC'er som emitteres fra materialer innendørs
- Partikler som har sine viktigste kilder fra pollen, trafikk og forbrenning utendørs samt eventuell forbrenning i form av stearinlys og oppvarmingskilder innendørs.
- I tillegg er mikrobiologisk vekst innendørs en viktig kilde til helsefarlige partikler, men dette problemet er sterkt avhengig av fuktnivået. Helseproblemer fra mikrobiologisk vekst er først og fremst knyttet til fuktproblemer i bygningskonstruksjoner.
- Menneskelige forurensninger er ikke kjent å ha signifikante helsekonsekvenser ved normale forhold, og regnes først og fremst som et komfort-problem.

Produktivitet:

- Luftkvalitet er kjent å ha stor innvirkning på produktivitet
- Høyt CO₂-nivå og tung/tett luft gir hodepine, tretthet og markant dårligere konsentrasjonsevne og prestasjoner. Det er imidlertid ikke fastslått hva dette skyldes, om det er høyt entalpinivå, høyt CO₂-nivå eller andre forurensninger.
- Høye konsentrasjoner av VOC'er, partikler og mikrobiologisk vekst gir plager som tørre øyne og slimhinner, og nedsatte prestasjoner.

Komfort:

- Redusert komfort er i hovedsak knyttet til oppfattelsen av «tett luft». Denne oppfattelsen er tettere knyttet til luftens entalpi enn noe annet (Fang et al.).
- Lukt er viktig for oppfattet komfort. Lukten påvirkes også av entalpi da den blir sterkere ved høyere entalpinivå.

Svært mye forskning knytter lave luftmengder til problemer med både

helse, produktivitet og komfort. Likevel er det ikke klart hva de ulike problemene skyldes. Det er klart at dårlig komfort og produktivitet er knyttet til høyt entalpinivå i tillegg til høye forurensningsnivåer. Men entalpinivået er også avgjørende for hvordan andre forurensninger oppfattes. Helse er i liten grad knyttet til entalpi og menneskeskapte forurensninger, men henger tett sammen med materialemisjoner, partikler og mikrobiologisk vekst som følge av utilsiktet fukt i bygningskonstruksjoner. Ved å studere nærmere de ulike årsakene til problemer og samtidig ha kontroll på forurensningskildene er det mulig og i noen tilfeller hensiktsmessig å redusere behovet for friskluft.

Nye syn på termisk inneklime

Som nevnt i innledningen finnes en mengde forskning og erfaringer som antyder at den mest anvendte teorien for termisk komfort ikke er representativ for mange bygg, og at deler av underlaget er mangelfullt. Årsakene til dette er ikke påvist, men kan blant annet være:

Virkeligheten er ikke sammenlignbar med et kontrollert klimakammer

- I virkeligheten er forholdene mer dynamiske enn hva Fanger har forutsatt. Ikke bare omgivelsene, men også kroppen vår forårsaker svingninger i temperaturfølelsen (Brager, Arens)
- I klimakammer har ikke brukeren muligheten til å påvirke forholdene. Dette kan være sammenlignbart med mekanisk ventilerte bygg uten mulighet for vindusåpning, men er lite sammenlignbart med naturlig ventilerte bygg. (Brager, De Dear)
- Individuelle forskjeller er større enn antatt, på grunn av forskjeller i fysiologi, psykologi, bekledning og aktivitetsnivå. Muligheten til å påvirke eget klima prioriteres over det å ha «riktig» temperatur. (Arens, Mayer)

Fangers antagelse om «termostat»-modell er for enkel.

- Fanger antok at kroppen fungerer som en termostat, der termisk ubehag/stress er proporsjonal med avviket fra nøytraltemperaturen. Det er senere vist at kroppens termoregulatoriske system består

av et sett med sammenkoblede systemer, der noen har som oppgave å overkompensere ved temperaturendringer. (De Dear, Parkinson)

- Antagelsen av at opplevelsen av termiske inntrykk er lik ved alle forhold er feil. Begrepet «Alliesthesia» ble skapt i psykologien i 1970 og betyr «følelses-ending». Fenomenet beskriver hvordan respondentens tilstand påvirker hvordan følelsesmessige impulser kan oppfattes helt ulikt. Ved selv små svingninger endres temperaturoppfattelsen drastisk. Når du er litt kald vil trekk være ubehagelig, men er du litt varm er det deilig. (Cabanac, De Dear)
- Fangers teori forstås som kun å representere en person som er termisk nøytral i utgangspunktet, men dette gjelder i virkeligheten kun et mindretall. (De Dear, Parkinson)

Forståelsen av termisk «følelse» og termisk «opplevelse»

- Fanger satt likhetstegn mellom følelse og opplevelse. Senere har forståelsen av dette endret seg, og opplevelsen forstås som et psykologisk behandlet utfall av følelsen. Begge deler påvirkes av kroppens tilstand i tillegg til det eksterne signalet. Dermed kan samme eksterne forhold gi ulik følelse, og samme følelse gi ulik oppfattelse. Termisk komfort er en oppfatning, og omgivelsene er bare en del av grunnlaget for å danne denne. (Fanger, Cabanac)
- Fanger satt grensen for misnøye ved PMV 2. Denne grensen var mer eller mindre tilfeldig satt og representerer ikke nødvendigvis terskelen for fornøydhet hos dagens kontorarbeidere. Toleransen for temperaturavvik er sterkt avhengig av individuelle og bygningsmessige forhold. Senere forskning har vist terskelverdier på PMV1 og 1,5. Noe forskning antyder at kvinner har lavere akseptnivå enn menn. (Gagge, Fanger, Brager, Mayer, Zhang & Zhao, Kim et al.)

Basert på denne kunnskapen er det rimelig å stille spørsmålstegn ved om dagens praksis for krav og løsninger for inneklime ved bygging og drift av norske bygg er hensiktsmessige.

VIKTIGE NYANSER VEDRØRENDE LUFTKVALITET

Betydningen av luftens entalpi

I både forskrifter og veiledere (TEK10, AT444) og i inneklimatestandarder som NS-EN 15251 og ASHRAE Standard 62 (6.), er det ikke sett på noen sammenheng mellom opplevd luftkvalitet og luftens entalpi (luftens luftfuktighet og temperatur). Dvs. opplevd luftkvalitet er gjengitt som en ren funksjon av menneskeskapt forurensning (CO₂-nivå og bio-effluenter). CO₂-nivået benyttes som markør for nivået av menneskelig forurensning. For forurensning fra materialer er det antatt faste friskluftmengder pr. m² gulvareal basert på graden av forurensende materialer i bygget.

En rekke studier (Fang og Toftum) viser imidlertid at opplevd luftkvalitet er sterkt avhengig av temperatur og til dels luftfuktighet, og disse faktorene vil i mange tilfeller være viktigere for opplevd luftkvalitet enn tilførte luftmengder og CO₂-nivå. Holder man temperatur og luftfuktighet lavt (eks 20 °C & 20 % RF, 35 kJ/kg entalpi) kan selv lave luftmengder (3,5 l/s per pers) gi meget god opplevd luftkvalitet (PPD≈10%)(Fang et al.). Tredobler man luftmengden til 10 l/s, men øker temperatur og relativ fuktighet relativt moderat til 23 °C og 50 prosent RF øker allikevel antall misfornøyde til ca. 20 prosent.

Laveste anbefalte relative luftfuktighet i inneluften

Selv om det ser ut til at opplevd luftkvalitet blir bedre og bedre med lavere temperatur, ser det ut som effekten av lav RF flater ut rundt 20 prosent (Wyon). Men er det et problem at RF går videre ned mot 10 eller 5 prosent som det naturlig vil bli i et moderne kontorbygg i kalde perioder? I følge flere studier (Fang, Wolkoff, Lagerkrantz, Wyon), er det god evidens for at veldig lav RF fører til større problem med tørre slimhinner, høyere blinkefrekvens, mer øyeirritasjon,

generelt mer SBS-symptomer¹ og også lavere produktivitet. I tillegg finnes nyere studier som antyder at smittefaren for virus-sykdommer som influensa øker betydelig ved lav RF. Problemene ser ut til å øke med RF under ca. 15 prosent. (Wyon et al.) Lesehastighet og kalkulasjonshastighet (vanlige kontoroppgaver) reduseres signifikant med RF under 15 prosent, og er klart lavest ved 5 prosent.

En nærliggende konklusjon er derfor at RF ikke bør underskride 15 prosent selv i de kaldeste periodene av året. Dette kan oppnås med enten å senke innetemperaturen, redusere luftmengden eller kunstig å befukte lokalene. Kunstig befuktning enten i ventilasjonssystemet og med lokale befuktere ble brukt i betydelig grad tidligere (tilbake på 60- og 70-tallet), men ble gått bort fra fordi man fikk mikrobiologisk vekst der man befuktet, som igjen førte til forurensning av inneluften. En kombinasjon av senkning av temperaturen og reduksjon av luftmengdene er derfor en nærliggende strategi.

DISKUSJON

Termisk inneklimate

Senere forskning viser tydelig at dagens praksis for å anta det termiske inneklimate som stasjonært er feil. Både helsemessige og komfortmessige hensyn etterspør mer dynamiske forhold, og i mange bygningstyper må forholdene uansett anses som dynamiske. Videre er de individuelle forskjellene store, og terskelen for fornøydhet med inneklimate er høyere og mer variabel enn det som antas i teorien. Forskingen presentert ovenfor indikerer at psykologiske faktorer og muligheten for å påvirke eget klima har større betydning enn hva som ligger til grunn i dagens praksis. På den andre siden kan brukere være tilfreds med større variasjoner i det termiske inneklimate enn tidligere antatt forutsatt at de opplever at de har mulighet til å påvirke. Med bakgrunn i dette anbefales det at man i designsammenheng i fremtiden

legger større vekt på muligheter for individuell regulering og mindre vekt på stringente krav til det fysiske miljøet.

Atmosfærisk inneklimate

Dagens praksis og forskriftskrav er tuftet på den positive sammenhengen mellom friskluftmengder og CO₂-nivå og helse, produktivitet og komfort. Dersom man ser nærmere på forskningsfunnene kan bildet nyanseres en god del. Først og fremst er det interessant å se nærmere på entalpi, materialeemisjoner og konsekvenser av tørr luft. Dette bildet viser at høye luftmengder på vinterstid i nordiske land ikke nødvendigvis er det mest optimale, først og fremst på grunn av de negative konsekvensene av tørr luft. Videre ser man at konsekvensene av å redusere friskluftmengder og øke CO₂-nivået er små, såfremt bygget ikke har forekomster av fukt og mikrobiologisk vekst, og entalpien holdes lav.

Med bakgrunn i dette anbefales det at man retter et mer kritisk blikk mot høye luftmengder i bygg vinterstid i Norge og at det i enkelte tilfeller vurderes å tillate noe lavere luftmengder enn hva som er fastsatt i teknisk forskrift.

Naturlig klimatisering

Naturlig klimatisering baserer seg i økt grad på naturlige prosesser for å sikre inneklimate til brukeren. Dette vil i mange tilfeller medføre et mer dynamisk inneklimate, der det brukes mindre energi på å holde temperaturen stabil på et visst nivå. På den andre siden innbyr disse konseptene til både påvirkningsmulighet, forventninger til inneklimate, kontakt med uteklimate og lave emisjoner fra materialer.

Se for øvrig rapport AP1-R07 Nye perspektiver på inneklimate ved naturlig klimatisering

¹ SBS: Sick Building Syndrom er en fellesbetegnelse for spesifikke og mer uspesifikke klager og symptomer på dårlig inneklimate i bygg, slik som øyeirritasjon, slimhinneirritasjon, hosting, følelse av tung og tørr luft med mere, se også https://en.wikipedia.org/wiki/Sick_building_syndrome



Naturlig klimatisering – behov og muligheter: Tid, kunnskap og ressurser

Å lage nye løsninger som går forbi «state-of-the-art», krever designteam med høy kompetanse, tid for å finne og utvikle de rette løsningene, og det krever utbygger og entreprenør som er villig til å ta en viss risiko, sier Tor Helge Dokka, sjefsrådgiver i Skanska Teknikk – avdeling for klima, energi og bygningsfysikk.

Tekst: Helle B. Berg

Sammen med seniorarkitekt MArch MNAL i Snøhetta, Tine Hegli og Arnkell J. Petersen, seksjonsleder for Inneklima og Energi i Erichsen & Horgen, har Dokka utforsket og utfordret muligheter og løsninger i flere innovative miljøprosjekter de siste årene. Ambisjonene har vært skyhøye, og svarene har ikke ligget i dagen. Samtlige av prosjektene har vært knyttet til forsknings- og utviklingsamarbeidet Naturligvis, initiert og ledet av Skanska, som har vært involvert i alle deler av satsingen – fra utvikling av løsninger og teori, piloter og til publisering og formidling av resultater fra prosjektet. Snøhetta på sin side har vært arkitekter for Powerhouse Kjørbo, HouseZero i Massachusetts, USA, Nydalen Vy og nye Montessori ungdomsskole i Drøbak, mens Arnkell J. Petersen og Erichsen & Horgen har vært med i prosjekteringsgruppen for Nydalen Vy med forsterket kompetanse på inneklima og energi. Etter dette engasjerte de seg videre i Naturligvis, der felles målsetting er å utvikle enklere og mer robust klimatisering, som også kan møte behov om lavt energiforbruk og god inneluft.

– Krav til ekstremt høy energiytelse sammen med godt inneklima har ført til at mange nye bygg har kompliserte og lite robuste tekniske installasjoner med relativt kort levetid, påpeker Dokka, Petersen og Hegli.

– Her forsøker vi å finne et annet optimum, der vi forenkler ventilasjonen så mye som mulig, for å redusere kompleksitet og kostnader på anlegg, sier Petersen.

Der vi har sluttbrukeren med fra start, er det klart lettere å finne de optimale løsningene

Tine Hegli, Snøhetta

– Når vi ser miljøregnskapene over livsløpet til et bygg, regner med utslipp fra energibruk og utslipp fra produksjon og avhending av materialer, blir det tydelig at det totale fotavtrykket reduseres betraktelig hvis vi kan klare oss med færre tekniske anlegg, kabler og rørføringer. Ikke minst blir det mer arealeffektivt med mindre behov for sjakter og tekniske rom, og bedre takhøyde i lokalene uten så mange kanaler, sjakter og tekniske rom, ifølge Hegli.

Behovet for nytenkingen rundt naturlig klimatisering kommer fra den pågående diskusjonen der kravene som settes til inneklima etter teknisk standard ses i lys av miljøbelastningen all teknikk og alle materialene medfører. Helt i forkant finner man det østerrikske foregangsbygget “2226”, som har fungert som et forbilde for samtlige prosjekter her hjemme.

– Vi ønsket å få til kvaliteter fra “2226” i Norge også, tross et mer utfordrende klima. Arkitekturen i bygget er tiltalende, rommene godt dimensjonerte og fleksibiliteten stor, dagslyset fra de høye vinduene kommer langt inn i rommet og luftelukene er fint integrert i fasaden. En norsk versjon av det samme ville vi være med på å finne fram til, sier de tre.

For å lykkes, trekker de fram behovet for at fagene setter seg sammen og tenker nytt.

– Det er stort potensiale for innovative løsninger og bredere variasjon i det vi bygger, sier Tine Hegli. Hun er spesielt opptatt av arkitekturen. Hvordan mennesker oppfatter komfort som en helhetsopplevelse i et samspill av mange ulike elementer der også utforming av rom, materialitet, kontakt med utemiljøet og årstidene inngår. Valg av naturlig klimatisering gir gevinster som større romhøyde og volum, naturlige materialer som gir fine overflater og færre monterte systemer. Dessuten får arkitekter og akustikere mulighet til å jobbe sammen om å utvikle arbeidsprosesser og nye produkter, ifølge Hegli.

– Er det særskilte erfaringer dere har gjort dere for hvert enkelt bygg, som er nyttige å ta med seg?



– Ja. For hvert prosjekt har kunnskap om det lokale klimaat; utemiljøet over årstidene, luftkvalitet, soner med trafikkstøy og den slags påvirket løsningen i større grad enn i andre prosjekter. Vi ser hvordan dette gir føringer for alle faser fra planlegging og programmering, til bygging, bruk og vedlikehold, som igjen peker på betydningen av å ha god bredde i laget gjennom hele utviklingsfasen. Der vi har sluttbrukeren med fra start, er det klart lettere å finne de optimale løsningene. Hensynet til aktiviteter i bygget kan da samkjøres med hvilke muligheter og begrensninger løsningene innehar, sier Tine Hegli.

– Naturlig ventilasjon, som tenkt implementert i Nydalen Vy, medfører store begrensninger i bruk og ombygging av lokalene. På plussiden får en redusert lokal kompleksitet, selv om dette motvirkes noe med økt kompleksitet på energisystem. Kanskje kunne en lagt mer hensiktsmessige mekaniske anlegg, hvis en tok innover seg noen av begrensningene vi har valgt å akseptere her, forteller Arnkell J. Petersen.

– Finnes det noen universal-løsninger, uavhengig av byggets forutsetninger?

– Både ja og nei. Det er mange løsninger som kan overføres greit til andre bygg og byggtyper og andre plasseringer og klimatiske forhold. Men generelt må naturlig ventilasjon alltid til en viss grad skreddersys til omgivelser og klimatiske forhold, sier Dokka.

– Det er noen felles elementer, men hvert slikt bygg er et unikum og krever omfattende prosess for å velge de riktige løsningene for lokalt klima, størrelse og bruk, mener Arnkell J. Petersen.

– Det vi med sikkerhet kan si når det kommer til den videre utviklingen av bygg med naturlig klimatisering, er at fasaden – skjermen mellom ute og inne – blir gjenstand for et langt tettere tverrfaglig samarbeid som igjen vil sikre høy kvalitet både teknisk og arkitektonisk, påpeker Tine Hegli.

– Men er dette noe for et byggemarked som tilsynelatende går i retning av standardløsninger?

– Ja, mener Tor Helge Dokka. – Uten tvil er det marked for alternative løsninger. Men det er godt mulig at dette er mer en sammensmelting og optimalisering av naturlig klimatisering og forenklet mekanisk klimatisering, sier han.

Jeg tror at dette vil bli en av trendene fremover. Vi aner konturene av at det blir mer varians og flere retninger innen klimatisering enn det har vært den siste tiden

Arnkell J. Petersen, Erichsen & Horgen

– Vi mener det er etterspørsel etter slike løsninger såfremt vi kan vise til bedret arealeffektivitet, energieffektivitet i drift, reduserte vedlikeholdskostnader og høy arkitektonisk kvalitet som resultat. Et økt fokus på livsløpsbetraktninger både med tanke på klimagassutslipp og økonomi, gjør at lang levetid for alle komponenter i bygg kommer gunstig ut. Da kommer forenkling av tekniske anlegg og gode betraktninger knyttet til materialvalg gunstig ut, sier Tine Hegli.

– Jeg tror at dette vil bli en av trendene fremover. Vi aner konturene av at det blir mer variasjon og flere retninger innen klimatisering enn det har vært den siste tiden, påpeker Petersen.

– Hva bør det arbeides videre med, for at dette skal bli allmenne valg i nybygg og rehabiliteringer?

– Det er fortsatt færre komponenter og løsninger for naturlig klimatisering enn for konvensjonelt mekanisk klimatiserte systemer. For eksempel i prosjektet Nydalen Vy jobber vi med utvikling av trekkhyller, nye fasadeluker og helt nye akustiske produkter som ikke er på markedet i dag, forteller Tor Helge Dokka.

– Det finnes produsenter av teknologien, men de har ofte produkter som er basert på mekaniske systemer med blant annet høyere trykkfall enn det man har i naturlig ventilasjon. Men kommer det opp et marked og etterspørsel vil garantert disse produsentene utvikle løsninger.

– Til en viss grad finnes det allerede løsninger som kan brukes på eneboliger og hytter, men komplette "klimatiseringsløsninger" som er kostnadseffektive er nok fortsatt mangelvare, sier Dokka.

– WindowMaster er de eneste vi kjenner til i markedet i dag som kan levere programvare og automatikk til vinduer og luker, men det er sannsynligvis flere alternativer lengre sør i Europa. Varme- og kjøleløsninger for integrering i gulv og vegger finnes det flere av på markedet, men det må mer erfaring og kompetanse inn for se på hvordan disse systemene

også kan virke på en smart måte sammen med for eksempel løsninger for naturlig ventilasjon, sier Tine Hegli. Hun ser stort potensial for forløsninger med naturlig klimatisering for boliger, både leiligheter og eneboliger. Enkle tekniske systemer som er lette å styre, drifte og vedlikeholde vil være gunstig for privatmarkedet.

Regelverket er i dag for basert på konvensjonelle teknologier, og burde i større grad være funksjonsbasert

Tor Helge Dokka, Skanska

Arnkell J. Petersen på sin side regner imidlertid ikke med at naturlig klimatiseringsløsninger som for Nydalen vy blir for alle.

– Til det er løsningen for lite robust for inneklima og energi. Derimot kan dette bli en løsning for enkelte bygg, men da krever vi en oppbygning av kompetanse på inneklima, luftkvalitet, akustikk og spørsmål knyttet til blant annet luftstrømninger, påpeker han.

– Dere har erfart motstand med hensyn til regelverk. Hva kan gjøres?

– Regelverket bør åpne opp for denne typen løsninger, mener Tine Hegli.

– Per i dag er det oppdragsgiver som i første rekke tar en risiko, i tillegg til at både prosjekteringsteam og entreprenør bærer mer ansvar enn i en vanlig byggesak, sier hun.

– Regelverket er i dag for basert på konvensjonelle teknologier og burde i større grad være funksjonsbasert.

Med det menes at man bør sette krav til resultatet, men ikke nødvendigvis hvordan og med hvilken teknologi man bruker for å nå resultatet, sier Tor Helge Dokka og får støtte fra Arnkell J. Petersen.

– Det kunne med fordel ha blitt mer teknologi-nøytralt, med fokus på sluttresultat heller enn hvordan det skal gjøres. Da kan vi finne varierte løsninger som tilfredsstillende samtidig som de er fleksible, sier han.

– Naturlig klimatisering krever helst ganske stabile vær- og temperaturforhold. I hvilken grad skaper dette ekstra behov her i Norge, langt mot nord, med mye mørke og kulde?

– Vi mener vi bør snu på forestillingen om at naturlig klimatisering er ekstra vanskelig her hjemme. Vi bør heller gjøre den norske naturen og det skiftende norske været til vår styrke. De fleste har et forhold til variasjonene som følger med årstidene på våre breddegrader. Dagslysintensitet, solvinkel, temperatursvingninger, luftfuktighet for å nevne noen. Hvis inneklimatet der vi bor og der vi jobber til en viss grad tillates å gjenspeile dette, vil det også gi rom for variasjon av opplevelser over dagen, døgnet og året. Målet må være å skape miljøtiltak i bygg som bringer oss litt tettere på naturen, sier hun.

– Ethvert klimatiseringssystem må kunne takle et stort spenn av vær og temperaturforhold, også naturlig klimatisering. I eldre bygg ble dette gjort med brukermessige inngrep eller mer selvregulerende systemer. I nyere bygg vil dette ofte bli gjort ved automatisering, men der er det ofte er mulig med brukermessig overstyring av systemene, påpeker Dokka.

For de tre aktørene har FoU-arbeidet med Naturligvis vært avgjørende for å kunne bane vei i det grønne skiftet, og for å være ledende entreprenører, arkitekter og ingeniører innenfor utviklingen av mer klimanøytral byggteknologi.

Enkle tekniske systemer som er lette å styre, drifte og vedlikeholde vil være gunstig for privatmarkedet

Tine Hegli, Snøhetta

– Det er slike samarbeid som må til for at vi skal kunne vinne og initiere ambisiøse miljøprosjekter, påpeker Tor Helge Dokka.

– Prosjektet har gitt, og gir den enkle, nytteverdi i at vi lærer oss hvordan fagene våre må henge sammen for å få dette til å virke. Vi har alle har et ønske om å utfordre konvensjonelle tankesett og se etter nye og bedre løsninger, men ingen får det til uten drahjelp fra de andre. Kall det gjerne en læringsarena eller en lekeplass for spesielt ivrige bransjeaktører, sier Hegli, med støtte fra Arnkell J. Petersen.

– Vi har lært mye i løpet av dette prosjektet, både om vårt fag og de andres. Det er først og fremst godt samarbeid mellom kompetente personer som er nøkkelen, men også en ydmykhet over for andres kompetanse. Selv på områder hvor vi tror vi vet best, sier han.





