



TRONDHEIM, OCTOBER 21-23

FROM LOW ENERGY BUILDINGS TO
PLUS ENERGY DEVELOPMENTS



PAPERS PRESENTED AT THE CONFERENCE PASSIVHUSNORDEN 2012

TABLE OF CONTENTS

DAY 1

MAIN CONFERENCE HALL	5
THE SKARPNES RESIDENTIAL DEVELOPMENT - A ZERO ENERGY PILOT PROJECT.....	5
NET ZEB OFFICE IN SWEDEN - A CASE STUDY, TESTING THE SWEDISH NET ZEB DEFINITION.....	6
DESIGN OF A ZERO ENERGY OFFICE BUILDING AT HAAKONSVERN, BERGEN	7
PASSIVE- AND PLUS ENERGY ROW HOUSES IN NEAR-ARCTIC CONTINENTAL CLIMATE.....	8
POWERHOUSE ONE: THE FIRST PLUS-ENERGY COMMERCIAL BUILDING IN NORWAY.....	9
 SMALL CONFERENCE HALL A.....	 10
RETROFITTING OF EXISTING BUILDING STOCK – AN ARCHITECTURAL CHALLENGE ON ALL SCALES.....	10
DESIGN OF A PASSIVE HOUSE OFFICE BUILDING IN TRONDHEIM.....	11
PASSIVE HOUSE WITH TIMBER FRAME OF WOOD I-BEAMS – MOISTURE MONITORING IN THE BUILDING PROCESS.....	12
TIMBER FRAME CONSTRUCTIONS SUITABLE FOR PASSIVE HOUSES	13
 SMALL CONFERENCE HALL B.....	 14
IMPROVEMENT OF TRADITIONAL CLAMPED JOINTS IN VAPOUR- AND WIND BARRIER LAYER FOR PASSIVE HOUSE DESIGN.....	14
PASSIVE DYNAMIC INSULATION SYSTEMS FOR COLD CLIMATES.....	15
POSSIBILITIES FOR CHARACTERIZATION OF A PCM WINDOW SYSTEM USING LARGE SCALE MEASUREMENTS	16
ENERGY DESIGN OF SANDWICH ELEMENT BLOCKS WITH AGGREGATED CLAY.....	17
HEATING AND COOLING WITH CAPILLARY MICRO TUBES INTEGRATED IN A THIN-SHALE CONCRETE SANDWICH ELEMENT.....	18
 SMALL CONFERENCE HALL C.....	 19
GUIDELINES FOR DEVELOPING ONE-STOP-SHOP BUSINESS MODELS FOR ENERGY EFFICIENT RENOVATION OF SINGLE FAMILY HOUSES.....	19
OPPORTUNITIES AND BARRIERS FOR BUSINESS MODELLING OF INTEGRATED ENERGY RENOVATION SERVICES	20
PROMOTION OF ONE-STOP-SHOP BUSINESS FOR ENERGY EFFICIENCY RENOVATION OF DETACHED HOUSES IN NORDIC COUNTRIES	21
AMBITIOUS UPGRADING OF POST-WAR MULTI-RESIDENTIAL BUILDINGS: PARTICIPATION AS A DRIVER FOR ENERGY EFFICIENCY AND UNIVERSAL DESIGN.	22

DAY 2 - MORNING SESSION

MAIN CONFERENCE HALL 23

DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENT WALL FOR RETROFITTING	23
ENERGIKONSEPT FOR OPPGRADERING AV NORDRE GRAN BORETTSLAG I OSLO	24
KAMPEN SCHOOL - RETROFITTING OF AN HISTORIC SCHOOL BUILDING WITH ENERGY EFFICIENT VENTILATION AND LIGHTING SYSTEM.....	25
REDUCING ENERGY CONSUMPTION IN A HISTORICAL SCHOOL BUILDING	26
EXAMPLES OF NEARLY NET ZERO ENERGY BUILDINGS THROUGH ONE-STEP AND STEPWISE RETROFITS .	27

SMALL CONFERENCE HALL A..... 28

OPTIMAL SPACE HEATING SYSTEM FOR LOW-ENERGY SINGLE.FAMILY HOUSE SUPPLIED BY LOW- TEMPERATURE DISTRICT HEATING.....	28
PERFORMANCE EVALUATION OF A COMBINED SOLAR-THERMAL AND HEAT PUMP TECHNOLOGY IN A NET-ZEB UNDER STOCHASTIC USER-LOADS.....	29
HEAT PUMP SYSTEMS FOR HEATING AND COOLING OF PASSIVE HOUSES	30
UTFORDRINGER MED INNREGULERING AV VAV ANLEGG I PASSIVHUS.....	31
THE POTENTIAL OF FAÇADE-INTEGRATED VENTILATION (FIV) SYSTEMS IN NORDIC CLIMATE.....	32

SMALL CONFERENCE HALL B..... 34

MARIENLYST SCHOOL – COMPARISON OF SIMULATED AND MEASURED ENERGY USE IN A PASSIVE HOUSE SCHOOL.....	34
VERIFICATION OF ENERGY CONSUMPTION IN 8 DANISH PASSIVE HOUSES.....	35
A PASSIVE HOUSE BASED ON CONVENTIONAL SOLUTIONS ON THE MARKET	36
MEASUREMENTS OF INDOOR THERMAL CONDITIONS IN A PASSIVE HOUSE DURING WINTER CONDITIONS.....	37

SMALL CONFERENCE HALL C..... 38

FROM PASSIVE HOUSE TO ZERO EMISSION BUILDING FROM AN EMISSION ACCOUNTING PERSPECTIVE	38
LIFECYCLE PRIMARY ENERGY USE AND CARBON FOOTPRINT FOR CONVENTIONAL AND PASSIVE HOUSE VERSIONS OF AN EIGHT-STORY WOOD-FRAMED APARTMENT BUILDING.....	39
COST EFFECTIVENESS OF NEARLY ZERO AND NET ZERO ENERGY BUILDINGS.....	40
ARCHITECTURAL FREEDOM AND INDUSTRIALIZED ARCHITECTURE - RETROFIT DESIGN TO PASSIVE HOUSE LEVEL.....	41
ARCHITECTURAL QUALITIES IN PASSIVE HOUSES.....	42
SUSTAINABLE VENTILATION.....	43

DAY 2 - AFTER LUNCH SESSION

MAIN CONFERENCE HALL	44
ERFARINGER MED PASSIVHUS – ET SYSTEMATISK OVERBLIKK	44
LIVING IN SOME OF THE FIRST DANISH PASSIVE HOUSES.....	45
EVALUATION OF THE INDOOR ENVIRONMENT IN 8 DANISH PASSIVE HOUSES.....	46
LESSONS FROM POST OCCUPANCY EVALUATION AND MONITORING OF THE 1 ST CERTIFIED PASSIVE HOUSE IN SCOTLAND.....	47
OVERHEATING IN PASSIVE HOUSES COMPARED TO HOUSES OF FORMER ENERGY STANDARDS.....	48
 SMALL CONFERENCE HALL A	 49
BOLIGPRODUSENTENES BIM-MANUAL FOR PASSIVHUSPROSJEKTERING	49
SIMULATION OF A LOW ENERGY BUILDING IN SWEDEN WITH A HIGH SOLAR ENERGY FRACTION.	50
SS 24 300: A SWEDISH STANDARD FOR ENERGY CLASSIFICATION OF BUILDINGS.....	51
NS3701: A NORWEGIAN STANDARD FOR NON-RESIDENTIAL PASSIVE HOUSES	52
 SMALL CONFERENCE HALL B.....	 53
GEOMETRISKE KULDEBROERS INNVIRKNING PÅ NORMALISERT KULDEBROVERDI	53
HAM AND MOULD GROWTH ANALYSIS OF A WOODEN WALL	54
HYGROTHERMAL CONDITIONS IN EXTERIOR WALLS FOR PASSIVE HOUSES IN COLD CLIMATE CONSIDERING FUTURE CLIMATE SCENARIO.....	55
PERFORMANCE OF 8 COLD-CLIMATE ENVELOPES FOR PASSIVE HOUSES	56
LABORATORY INVESTIGATION OF TIMBER FRAME WALLS WITH VARIOUS WEATHER BARRIERS	57
 SMALL CONFERENCE HALL C.....	 58
VAD BEHÖVS FÖR ETT MARKNADSGENOMBROTT AV NYBYGGNATION OCH RENOVERING TILL PASSIVHUS - ANALYS FRÅN SEMINARIESERIE	58
KOMMUNERS MÖJLIGHETER ATT STYRA UTVECKLINGEN MOT PASSIVHUS I SVERIGE OCH UTBILDNING AV BESTÄLLARE INOM KOMMUNAL SEKTOR	59
PASSIVHUSCENTRA I NORDEN	60
BUILD UP SKILLS NORWAY: COMPETENCE LEVEL ON ENERGY EFFICIENCY AMONG BUILDING WORKERS	61

Trekonstruksjoner egnet for passivhus

Michael Klinski, Trond Bøhlerengen, Tor Helge Dokka
SINTEF Byggforsk, Postboks 124 Blindern, N-0314 Oslo, +47 22 96 55 53, michael.klinski@sintef.no

Abstract: Timber frame constructions suitable for Passive Houses

Several Nordic countries have a long tradition for timber frame building, especially in small houses, but also in larger buildings with load bearing concrete constructions, as filled in wooden structures in the main facades. Therefore, to improve the marked share for Passive houses, it is crucial to develop guidelines for energy efficient timber frame constructions, suitable for northern climate conditions and building traditions. Climatic conditions and architectural traditions differ between regions. Hence, it is important, but not enough to look at solutions in other countries. A lot of “German” or “Austrian” solutions or building materials could be used in Nordic countries too, but they may be difficult to introduce due to different building traditions. Climatic conditions between Norwegian average climate and Central-European average climate differs not as much as most of us think. On the other hand – there are much bigger climatic differences within Norway. The temperature varies more between mild coast and cold inland than between south and north. In addition, there are large regional and local variations concerning rain, wind and solar conditions.

The paper will report the results of a research project called “Passive House solutions based on timber frame constructions”, which dealt with state of the art analyses concerning wooden constructions used in Passive House projects in Norway, Sweden, Germany and Austria. A literature review of research reports and existing guidelines are also carried out. The main observations are discussed with regard to different climate conditions and relevance for the Norwegian building industry. The paper will give an overview of used constructions and main distinctions between the mentioned countries as well as examples on possible solutions for different climate conditions, ensuring good indoor climate and avoiding moisture problems.

One observation within the study is that some constructions in Sweden are more different Norwegian solutions than Central-European solutions are, for instance use of EPS between two layers of mineral wool, or steel sections in wooden wall structures. Both in Sweden, Germany and Austria, foundation and slab on ground constructions differs considerably from solutions in Norway. Another difference is that there is little focus on wind protection in these countries, which is crucial in exposed locations in Norway. And last not least: Exposure to very much rain and wind some places on the coast in Norway makes it necessary to accept a compromise between low thermal bridge values around windows and rain protection in such cases. This emphasizes how important adapted solutions for Passive Houses are.

The project was mainly funded by *Innovation Norway*. As an outcome, it was developed guidelines within the series “Fokus på Tre” and “SINTEF Building Research Design Guides”. Basic detail drawings will be shown in the presentation.

Innledning: Trekonstruksjoner egnet for passivhus

SINTEF Byggforsk har i 2010 og 2011 gjennomført et omfattende utredningsarbeid i samarbeid med Trefokus AS. Målet med prosjektet var å skaffe en systematisk oversikt over ulike konstruksjonsløsninger for passivhus basert på tre og egnet for norske leverandører og forhold. Prosjektrapporten presenterer innledningsvis prinsipper samt standarder og kriterier for passivhus. Etter en presentasjon av eksisterende veiledningsmateriell blir det drøftet forskningsresultater som viser at optimalisering av vindusinnsetting har stor betydning for minimering av kuldebroer. I hoveddelen av rapporten blir det presentert og analysert ferdigstilte passivhus med tilhørende konstruksjonsløsninger i Norge, Sverige, Tyskland og Østerrike, inkludert noen rehabiliteringsprosjekter. Rapporten avslutter med å drøfte hvilke konstruksjonsløsninger som kunne være egnet for norske forhold samt å vise og beskrive skisser for tre ulike veggkonstruksjoner med prinsipiell oppbygging og viktige overgangsdetaljer [Klinski mfl. 2011]. Som en del av utredningsarbeidet, ble det i mai 2012 offentliggjort to anvisninger i Byggforskserien som viser eksempler på henholdsvis norske passivhusbygninger

og konstruksjonsløsninger med detaljer for varmeisolering og tetting [Klinski og Dokka 2012], [Bøhlerengen 2012]. Anvisningene er de første i Norge som utelukkende omhandler løsninger for passivhus.

Denne artikkelen er basert på rapporten og på anvisningen med eksempler på detaljer. Rapporten er i hovedsak finansiert av tilskudd fra Innovasjon Norges trebaserte innovasjonsprogram. I tillegg kommer egeninnsats fra SINTEF Byggforsk og Trefokus samt et bidrag fra KlimaTre-prosjektet¹.

Eksisterende veiledningsmaterial og forskningsresultater

En gjennomgang av relevant litteratur og relevante nettsteder viser at eksisterende veiledningsmaterial i Norge bare er på et generelt nivå. Spesifikke, detaljerte konstruksjonsløsninger for passivhus blir ikke vist. Selv om det i Sverre er kommet ut både en brosjyre og en håndbok om passivhus (kan bestilles på www.passivhuscentrum.se), så er også viste løsninger i disse på et forholdsvis overordnet nivå.

Passivhusinstituttet i Tyskland lanserte allerede i 2002 en gratis veileder om passivhus i tre som viser alternative veggkonstruksjoner og hoveddetaljer². "Passivhaus-Bauteilkatalog" – eller på engelsk "Details for Passive Houses" – er et omfattende, gjennomgående tospråklig standardverk om økologisk vurderte konstruksjoner for passivhus, gitt ut av Instituttet for bygningsbiologi og -økologi i Østerrike (IBO) i samarbeid med Passivhusinstituttet i Tyskland. Forfatterne gir en fyldig innføring i passivhuskonseptet med egne kapitler om lufttetthet og fuktproblematikk i konstruksjoner mot terreng. Både materialer og "funksjonelle enheter" som vinduer og puss blir vurdert etter flere kriterier og stilt sammen i sammenlikningstabeller. Dette fungerer som bakgrunnsstoff og oppslagsdel for de viste konstruksjonsløsningene. Hovedinnholdet er 130 konstruksjoner og overgangsdetaljer med beskrivelser, vurderinger og bygningsfysiske nøkkeltall. Alle standardkonstruksjoner blir vist og sammenliknet i to materialvarianter, ett mer vanlig og ett økologisk sett bedre alternativ. Disse blir vurdert etter primærenergibehov, drivhuspotensial og forsyningspotensial i produksjonsprosessen samt muligheter for gjenbruk og gjenvinning etter riving. Håndboka kan bestilles på www.ibo.at.

Passivhusinstituttet har offentliggjort flere rapporter som har spesifikk relevans for trekonstruksjoner. Først og fremst er dette kompendier fra arbeidsverksteder i forskningsprosjekter, såkalte protokollbind. Kompendiene kan bestilles på www.passiv.de under "Service". Plassering av vinduer i veggen og utforming rundt karm og smyg er blant det mest interessante i kompendiene. Her må det tas hensyn til kuldebroer, slagregn, kondensfare, lufttetthet, soltilskudd og dagslys. Både plassering langt ute i fasadelivet og plassering langt innover gir høyere kuldebroverdier enn et vindu plassert sentralt i isolasjonssjiktet, selv om dette i trestendervegger er mindre utpreget enn i mur- eller betongvegger med isolasjon utenpå. Et bidrag i Protokollband 37 om optimalisering av vinduer viser simulerte resultater for innsetting av eksempelvinduer i to ulike karm/rammekvaliteter for et trelags vindu med samme gode glasskvalitet med $U_g=0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ i en trestendervegg med $U_{\text{vegg}}=0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$. I begge tilfeller blir det bekreftet at sentral plassering gir lavest kuldebroverdi, men at det har enda større effekt å føre utvendig isolasjon over karmen.

Ut fra eksempler og simuleringer i [Kaufmann mfl. 2008] kunne en *bare noe* inntrukket vindusplassering med isolasjon på karmen i mange tilfeller likevel være en enkel og bra nok løsning. Porøse trefiberplater i større tykkelse enn det norske "asfalt vindtett" ville være egnet til det. Vinduer lenger inne i vegglivet kan medføre ulemper i form av lavere sol- og lystilskudd. Bidraget i Protokollband 37 undersøker i tillegg virkningen av skrå vindussmyg utvendig. Effekten pga. større soltilskudd er signifikant for oppvarmingsbehovet, men ikke så stor som god karmkvalitet og isolasjon på karmen. Effekten kan dessuten bli helt borte i skyggefylte situasjoner. Uansett er skrå utvendige smyg bedre egnet for massive vegger med isolasjon utenpå. Ved trevegger er slike smyg derimot arbeidskrevende, mens det er enklere å plassere selve vindu i gunstig posisjon. Skrå smyg innvendig vil bare øke dagslysinfall, men ikke soltilskudd.

¹ KlimaTre-prosjektet er finansiert av Norges forskningsråd, Skogtiltakfondet, Treforedlingsindustriens bransjeforening, Fondet for tref teknisk forskning og Treindustrien. I tillegg bidrar mange aktører innenfor skogbasert næring og byggenæring med en betydelig egeninnsats.

² Se

[http://www.passipedia.de/passipedia_de/grundlagen/bauphysikalische_grundlagen/waermeuebertragung/waermebrueckenvermeidung?s\[\]=handbuch](http://www.passipedia.de/passipedia_de/grundlagen/bauphysikalische_grundlagen/waermeuebertragung/waermebrueckenvermeidung?s[]=handbuch)

Analyse av ferdigstilte passivhus i tre

Det ble sett på 12 prosjekter i Tyskland og Østerrike, ferdigstilt mellom 1998 og 2008, 7 prosjekter i Sverige fra 2001 til 2009, samt 6 prosjekter i Norge fra 2007 til 2011. I hovedsak var dette småhus, men undersøkelsen omfattet også en del blokkbebyggelse samt en barnehage, et kommunehus og to skoler. De fleste prosjekter er enten sertifisert eller evaluert i tidligere forskningsprosjekter. I alle norske prosjekter var minst én av forfatterne involvert i prosjektutviklingen. For nærmere omtale og flere referanser se rapporten [Klinski mfl. 2011].

Passivhusprosjekter i Tyskland og Østerrike

I tidlige passivhusprosjekter³ ser vi mange ulike trekonstruksjoner, spesielt i veggene. I tillegg til kombinasjoner med vegger og etasjeskillere i betong fins det også tre i kombinasjon med betongsøyler, stålsøyler og teglvegger. Vi ser en større andel fasader med puss direkte på isolasjon og ett prosjekt som har stående panel med underligger uten lufting. Slike løsninger kan være problematisk i områder med mye slagregn, men kan ofte også modifiseres til luftede fasader. Vi ser også vegger med OSB-plater lenger inne i konstruksjonen og/eller polystyren som ytterste isolasjonslag, mens hovedisolasjonen er av mineralull. Begge deler er mulig i kombinasjon med innvendig PE-folie. Materialene har imidlertid større diffusjonsmotstand enn mineralull, slik at s_d -verdien øker utover, og uttørkingsevnen mot det fri blir mindre. Konstruksjonene har derfor mindre sikkerhet mot fuktskader, hvis det kommer inn fukt i den ”innebygde” delen av veggen. Ellers er det vanligvis brukt mineralull til isolasjon, og innvendig lufttetting er løst med PE-folie alene eller med dampsperre/dampbrems på trebaserte plater.

Rekkehusene i Hannover-Kronsberg, en del av forskningsprogrammet CEPHEUS og ferdigstilt allerede i 1998, har grønt tak over prefabrikkerte takelementer med I-bærere og mineralull. Konstruksjonen er svært damp tett utvendig og har PE-folie som damp- og lufttetting innvendig ($s_d \geq 100$ m). Slike løsninger kan fungere dersom det ikke bygges inn fukt under byggeperioden og hvis lufttettingen er på passivhusnivå, med nøye gjennomførte tiltak. Reservene er imidlertid sterkt begrenset. Prosjektet er blitt fulgt opp med målinger og evalueringer, og i praksis har det vist seg at løsningen virker også over tid. I en seinere utredning om bygningsfysikk i tak har passivhusinstituttets leder Wolfgang Feist brukt prosjektet som eksempel [Feist 2005]. Han bekrefter at løsningen kan fungere under gitte forutsetninger. På grunn av sterkt begrensede uttørkingmuligheter i konstruksjonen vil han imidlertid nå anbefale å velge en fuktvariabel dampbrems som innvendig lufttetting. En slik dampbrems kan ha tilstrekkelig dampmotstand om vinteren ($s_d \geq 5$ m), men blir i uttørkingsperioden veldig dampåpen ($s_d \leq 0,3$ m). Med dette blir konstruksjonen mer robust og har større uttørkingsevne. Fuktvariable dampbremsmaterialer med så stor spennvidde på adaptasjon var ikke på markedet da rekkehusene ble bygget.

I nyere prosjekter⁴ ser vi en viss grad av forenkling av konstruksjonene. Dessuten er det en tendens bort fra mineralull til mer bruk av innblåst celluloseisolasjon og porøse trefiberplater. En annen tendens er at det brukes mer diffusjonsåpne konstruksjoner med innvendig dampbrems. Disse kan enten være folie/papp alene, eller trebaserte materialer som OSB-plater. I stedet for å påføre disse ytterligere folier, som vi ofte ser i tidlige prosjekter, brukes det nå løsninger med kun teipete skjøter og overganger; det vil si at OSB-platene i seg selv er lufttettings- og dampbremsjiktet. Tykkere porøse trefiberplater brukes i noen tilfeller som kombinert lufttetting og kuldebrobryting og føres på vinduskarmen, slik at den er isolert utvendig. Dette kan forenkle isolasjonsløsningen rundt vinduene, som delvis ser komplisert ut i tidlige prosjekter. Vinduene sitter i nesten alle tilfeller lenger inne i vegglivet og har påført isolasjon på karmen. Vi ser imidlertid også at ikke helt optimal plassering av vinduer blir akseptert i noen tilfeller, for det meste i store kompakte bygg hvor noe høyere kuldebroverdier ikke er avgjørende for varmetapet totalt.

Vi ser generelt en høy andel bygging med prefabrikkerte elementer. Prosjektene har vindtetting, men det er ikke stort fokus på det. Alle bygg har hovedlufttetting innvendig, det vil si i kombinasjon med dampsettings/dampbremsjiktet. Det legges vekt på sikre lufttette løsninger gjennom god detaljering. Ved etasjeskillere løses dette i svært mange prosjekter ved at hele hoveddelen av ytterveggen går forbi dekket. På denne måten er plate-, folie- eller papplaget ”automatisk” gjennomgående, helt uten tilleggsarbeid. I andre

³ Dette er i prosjekter som ble evaluert i publikasjoner under referansen [CEPHEUS 2001].

⁴ Her støtter vi oss i hovedsak på dokumentasjon av prosjekter som arkitekter og ingeniører har sendt inn til passivhusinstituttet for å bli godkjent som sertifisert passivhusplanlegger, se referansen [IG Passivhaus ulike år].

tilfeller brukes remser som føres rundt bjelkelaget eller betongen, eller det tettes mot innbindende deler. Disse stikker aldri langt inn i vegglivet; tradisjonelle plattformkonstruksjoner med bjelker helt ut mot fasaden er ikke å se og er heller ikke effektivt i svært tykke vegger. Erfaringene i flere evaluerte mellom-europeiske prosjekter viser for øvrig at innvendig lufttetting både kan oppnås i praksis og også holder over tid. Med dette blir også fuktsikkerheten godt ivarettatt.

Ringmurløsninger som i Norge er ikke utbredt i Tyskland og Østerrike. Større fundamenter og/eller tykke betongplater er vanlig, og det stilles strengere krav om sikring mot oppstigende fukt fra grunnen.

Passivhusprosjekter i Sverige

I likhet med passivhus i Tyskland og Østerrike, er det i Sverige ikke spesielt fokus på vindtetting, og det lufttette sjiktet er alltid på innsiden. I alle tilfeller brukes tradisjonell plastfolie til det, med stor vekt på å oppnå lufttette overganger. Det legges også mye vekt på å minimere kuldebroer, selv om dette ikke er mulig optimalt med vinduer langt ute i vegglivet og gjennomgående treverk rundt. Mange prosjekter har skrå vindusmug. Dette er en god løsning for dagslystilgang gjennom åpninger i tykke vegger, men kan være arbeidskrevende å få til.

Veggoppbyggingen er delvis komplisert med mange ulike lag og bruk av flere isolasjonsmaterialer i samme konstruksjon. Dette er også arbeidskrevende, men kan gi lav treandel og lite gjennomgående treverk med tilsvarende lite ekstra varmetap. Ettersom polystyren har betydelig høyere dampmotstand enn mineralull, minsker dette imidlertid også uttørkingsevnen. Så lenge de deler av veggene som inneholder treverk, er prefabrikkert og ikke utsettes for fukt under montasjen på byggeplassen, kan slike konstruksjoner være fuktsikre. Løsningene er imidlertid svært avhengig av at lufttettheten fungerer i praksis, slik at det ikke kommer inn utilsiktet fukt gjennom innvendige sprekker når huset er bebodd. Montasjemåten kan også være problematisk i og med flere prosjekter har vegger hvor det først settes opp indre deler av veggen. Dette ble diskutert i et prosjekt i Värnamo med konklusjon at veggløsningen burde tillate å begynne arbeidet utenfra (her etter at bærestrukturen av stål og betong er satt opp) [Janson 2008]. Diskusjonen ble ført ut fra en mest mulig effektiv arbeidsprosess, men slike løsninger ville også være en fordel med hensyn til en fuktsikker byggeprosess.

I et prosjekt i Tollered brukes profiler av stål istedenfor tre som krysslekting mellom to forholdsvis damptette sjikt i veggen mot badet. Dette hadde ikke vært nødvendig ved bruk av et lufttett sjikt med vesentlig lavere dampmotstand enn vanlig PE-folie og en gjennomtenkt diffusjonsåpen veggkonstruksjon med avtakende dampmotstand mot yttersida.

En analysert enebolig ved Eksjö fra 2007 har en enklere konstruksjon og bruker celluloseisolasjon. Sånn sett har prosjektet større likheter med en del nyere prosjekter i Mellom-Europa, bortsett fra at det fortsatt brukes ordinær PE-folie. I likhet med en enebolig i Lidköping er skråtakene med I-bjelker ikke lufttet mot et relativt diffusjonstett undertak. Undersøkelser av Passivhusinstituttet i Tyskland konkluderer med at fuktadaptive dampbremsere i slike tilfeller er en sikrere løsning med større uttørkingsreserve enn den vanlige PE-folien.

Diskusjoner rundt slike bygningsfysiske problemer er fraværende i tilgjengelige svenske evalueringer. Det som derimot diskuteres mye, er avverging av kondensfare og oppstigende fukt i konstruksjoner mot sokkelen og på loftet. Noen prosjekter har derfor isolasjon i undertaket, selv om skråtakene under – eller et kaldt loft – er lufttet. I en lisensiatavhandling refereres det for alle analyserte prosjekter gjennomdiskuterte løsninger som skal beskytte stendere og svill mot fukt fra betongen under [Janson 2008].

Totalt virker forskjellen mellom norsk og svensk byggeskikk relativt stor, sammenliknet med ulikheter mellom Norge og sentraleuropeiske land. Ringmurløsninger, som blir mye brukt i Norge, ser en verken i undersøkte prosjekter i Sverige eller i Mellom-Europa.

Passivhusprosjekter i Norge

Valgte konstruksjonsløsninger varierer fra relativt kjente konstruksjoner (Marienlyst, Løvåshagen, Storøya) til mer nye/innovative løsninger, sett på bakgrunn av norsk byggetradisjon (Myhrerenga, Skøyen, Sørumsand). I alle prosjekter har det vært fokus på god og fuktsikker byggeprosess, enten ved å bygge under telt, med værbeskyttet stillas eller ved å bruke prefabrikkerte elementer. Likevel dominerer plassbygging i Norge også på passivhus (som på konvensjonelle bygg), og prefabrikasjon er fortsatt relativt uvanlig. Valg av konstruksjonsløsning må alltid ses i sammenheng med valgt byggemetode/byggeprosess. Velger man å bygge

seg fra innsiden og utover må man ha en eller annen form for værbeskyttelse, enten i form av telt eller innebygget/værbeskyttet stillas. Konstruksjonene varierer fra løsninger med mye treverk (Marienlyst) til løsninger med middels mye treverk (Løvåshagen, Storøya, Skøyen, Sørumsand) til bygg med lite treverk (Myhrerenga). Det er gode argumenter for å bruke så lite treverk som mulig, både for slankheten til konstruksjonen (plassbesparende), få lav U-verdi med minst mulig isolasjon og også fuktmessig (med minst mulig behov for uttørking av treverk).

Utførelsen av det innvendige lufttettings/dampsperre/dampbremsjiktet varierer også i casene fra konvensjonell norsk løsning med dampsperre i plastfolie (Løvåshagen, Marienlyst, Storøya) til mer (etter norsk tradisjon) uvanlige dampbremsløsninger (Skøyen, Myhrerenga, Sørumsand). Mange norske passivhus har fokus på utvendig kontinuerlig vindtettesjikt for å klare lekkasjetallkravet (0,6). Med norsk byggetradisjon er det ofte lettere å få til et kontinuerlig utvendig vindtettesjikt enn kontinuerlig innvendig lufttetting på basis av et dampsperrsjikt. Men med nye (for norske forhold) konstruksjonsløsninger er det ofte aktuelt å plassere det kontinuerlige hovedlufttettesjikt innvendig (dampsperre/dampbrems), slik det er vanlig også i passivhus både i Sverige, Tyskland og Østerrike.

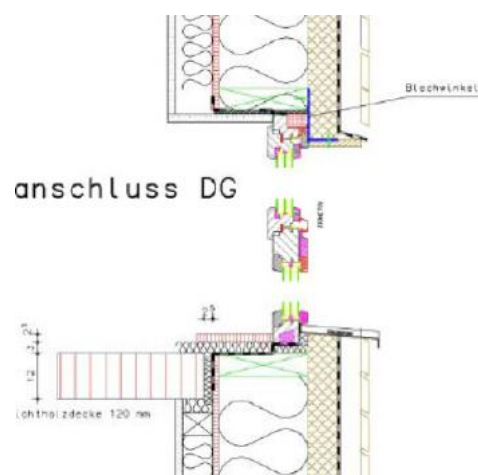
Bortsett fra Løvåshagen⁵, er i alle prosjekter vinduene dratt relativt langt inn i vegglivet. Dette gir lave kuldebroverdier og kan være gunstig mht. mindre fare for utvendig kondens og solbelastning i varme perioder. Men dette krever at man også har ganske dype sålbenkbeslag under vinduer, som av erfaring ofte er utsatt for lekkasjer. I slike tilfeller bør man ha en ekstra membran under sålbenkbeslag for å fange opp eventuelt lekkasjevann, slik man har gjort på både Marienlyst, Myhrerenga og Villa Stoknes på Skøyen.

Konstruksjonsløsninger egnet for passivhus i Norge

Det er tydeligvis ulike tradisjoner, både konstruktivt og i byggeskikk generelt i de undersøkte land, som gjør det delvis vanskelig å "importere" løsninger direkte til Norge uten først å ha vurdert egnetheten under ulike klimatiske forutsetninger. Ved å gjøre nettopp det, vil en imidlertid kunne bruke både mer diffusjonsåpne løsninger, nye økologisk gunstige materialer og andre konstruksjoner enn de fleste er vant til i Norge. En generell anbefaling er å forsøke å etablere både vindsperre- og dampbrems/dampsperrsjiktet som kontinuerlige lufttette sjikt. Hvis en legger mye vekt på vindtetting, som ofte er nødvendig i Norge, må et innvendig, ubrutt lufttett sjikt likevel være på plass for å unngå fuktproblemer i klimaskjermen.

Teknisk sett kan mange av de svenske, tyske og østerrikske løsningene også anvendes i Norge, uten altfor store endringer. Noen løsninger virker komplisert og/eller fuktteknisk ikke meningsfylt, som å blande EPS og mineralull eller å bruke stålprofiler i trevegger. For sokkel og gulv på grunn er det generelt lite å hente i andre land, hvis ikke hele konstruksjonen skal endres. Plassering av vinduer og valg av vindtettingsløsninger er områder hvor en større tilpasning til klimatiske forutsetninger på byggestedet er påkrevd, det vil si at løsninger som (f.eks. i en gitt kombinasjon av materialer) muligens kan fungere i moderat norsk innlandsklima, ikke vil kunne anbefales på sterkt værutsatte steder uten vesentlige forbedringer.

I motsetning til passivhus i Sentral-Europa, plasseres vinduer i Sverige ofte langt ute i fasadelivet, og karmen isoleres ikke utenpå, selv om dette gir forholdsvis store kuldebroer (som i mange tilfeller ikke blir beregnet; estimater vil ofte undervurdere hvor stor innflytelse slike kuldebroer i virkeligheten har, spesielt i småhus). Slik plassering er også en tendens i Norge, og i begge land er det ikke vanlig å isolere karmen utenpå. Simuleringer viser at isolasjon på karmen har en større effekt på kuldebrominimering enn vindusplassering i seg selv. Første skritt bør derfor være å utforme konstruksjonen slik at det er mulig å føre isolasjon på karmen. Dette kan f.eks. løses med en tykk porøs trefiberplate som trekkes rett over karmen. Med en slik enkel løsning sitter vinduet "automatisk" noen cm inne i vegg, uten at selve



Figur 1 Enebolig i Weitnau: Vinduskarm isolert med 8 cm porøs trefiberplate

⁵ Dette gjelder også mange andre norske passivhusprosjekter, som ikke er vist i rapporten.

veggkonstruksjonen er mye mer værutsatt, se eksempel i Figur 1. Dette kunne være utgangspunkt for en slags kompromiss mellom lav kuldebroverdi og sikkerhet mot slagregn, som en membran under sålbenken kunne ivareta. Slike tykke porøse trefiberplater produseres imidlertid per i dag ikke i Norge.

Eksempler på detaljløsninger i klimaskall for passivhus i tre i Norge

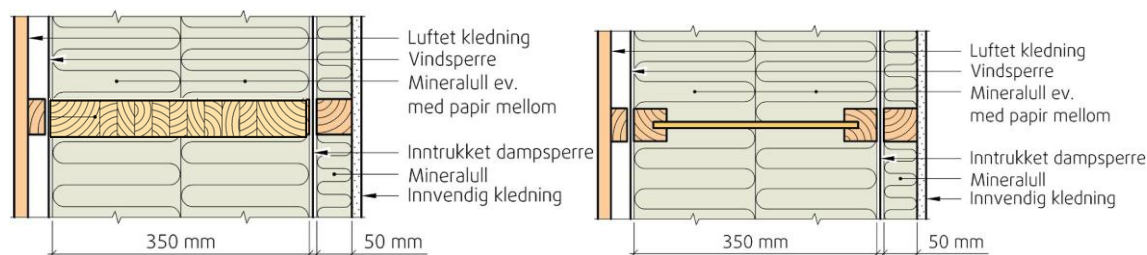
Selv om passivhus er relativt nytt i Norge, begynner vi nå å få en del erfaringer med forskjellige måter å bygge slike bygninger på. Mest erfaringer har vi fra småhuskonstruksjoner i tre, men de samme byggetekniske prinsippene brukes også til passivhusløsninger i andre store bygninger (skoler, kontorbygg, boligblokker). For de byggetekniske løsningene ligger hovedutfordringene i *fuktsikring*, *lufttetting* og *klimatilpasning* av konstruksjonene. Det vil være en fordel dersom man også i passivhus i størst mulig grad kan bygge med velkjente byggetekniske løsninger som byggebransjen har erfaringer med fra tidligere. Noen eksempler på løsninger for detaljer i yttervegger og tak er i mai 2012 publisert i anvisningen 472.435 "Passivhus i tre. Eksempler på detaljer for varmeisolering og tetting" i Byggeforskserien fra SINTEF Byggeforsk [Bøhlerengen 2012].

Yttervegger i trehus

Flere løsninger er mulig; enkle bindingsverksvegger i tre, doble bindingsverksvegger med mellomliggende isolasjon og bindingsverk eller massivtre med utenpåliggende spesialisolasjon og utlektet kledning. Alle veggene anbefales med dampsperrsjiktet trukket 50 mm ut i veggens for å unngå unødvendige hull. Av de nevnte løsningene vil den enkle bindingsverksveggen være den løsningen som ligner mest på den "tradisjonelle" byggemåten. Eneste forskjell er økt veggetykkelse (minst 350 mm isolasjon) og fokus på tettesjikt (vind- og dampsperre) og kontroll på fuktnivå i alle innbygde materialer (det vil si materialer innbygd i isolasjonssjiktet mellom utvendig og innvendig tettesjikt).

Enkle bindingsverksvegger i tre

Løsningen er velkjent, men med isolasjonstykkelse fra ca. 300 mm og oppover krever veggetykkelsen bruk av annet enn normalt heltrevirke i stendere og sviller. I passivhus bygges det vanligvis med isolasjonstykkelse på *minst* 350 mm pluss 50 mm isolert "utforing" på innvendig side. Det kan bygges med I-profiler i tre eller med stendere av sammenlimte lameller, begge med omtrent likeverdige isolasjonsverdier. [Figur 2a](#) og [figur 2b](#) viser eksempel på oppbyggingen av en slik vegg.



Figur 2a og 2b: Eksempel på oppbygging av enkel bindingsverksvegg i passivhus. Med stendere c/c 600 mm og enkel topp- og bunnsvill gir dette en vegg med U-verdi = 0,11 W/m²K.

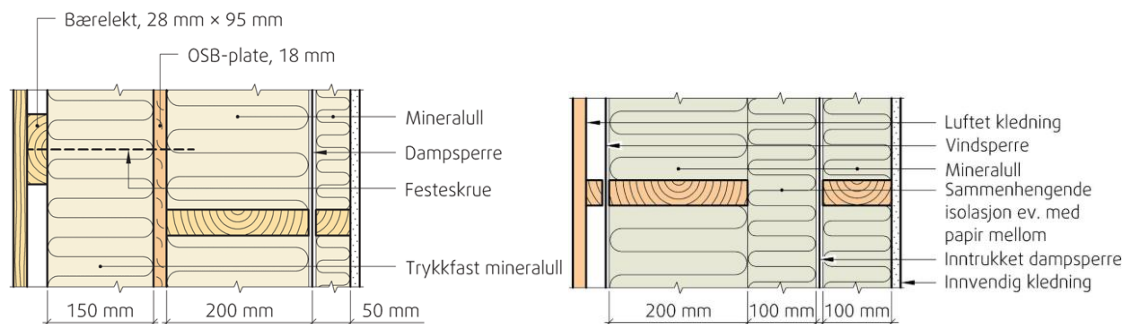
Fordelen med denne løsningen er at den prinsipielle oppbyggingen er den samme som i "vanlige" vegger, slik at den er velkjent for byggebransjen. Når bindingsverket er oppe kan veggens sjiktvis bygges sammen "utenfra og innover" på vanlig måte. Vindsperre og veggkledning gir fuktbeskyttelse i byggeperioden før veggens isoleres og tettes fra innvendig side. Løsningen krever ikke annen spesiell værbeskyttelse i byggeperioden. En annen fordel er at det isolerte hulrommet mellom hver gjennomgående stender (hvert fakk) utgjør et lukket rom, slik at eventuelle luftlekkasjer gjennom utettheter i vind- eller dampsperrsjikt ikke kan spre seg til andre deler av veggens.

Andre veggtyper

Eksempler på andre måter å bygge opp trevegger i passivhus på er vist i [figur 3a](#) og [figur 3b](#). [Figur 3a](#) viser en ny løsning hvor spesialisolasjon festes utenpå en bindingsverksvegg uten utforing, slik at kuldebroene reduseres

til et minimum. Løsningen har spesielle utfordringer i forbindelse med innfesting og plassering av vinduer og dører, samt innfesting og oppheng av utføret veggkledning. Med totalt 400 mm isolasjon gir dette en vegg med $U\text{-verdi} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$. Løsningen i [figur 3b](#) er en "dobbelvegg" med mellomliggende isolasjon som også bryter kuldebroene.

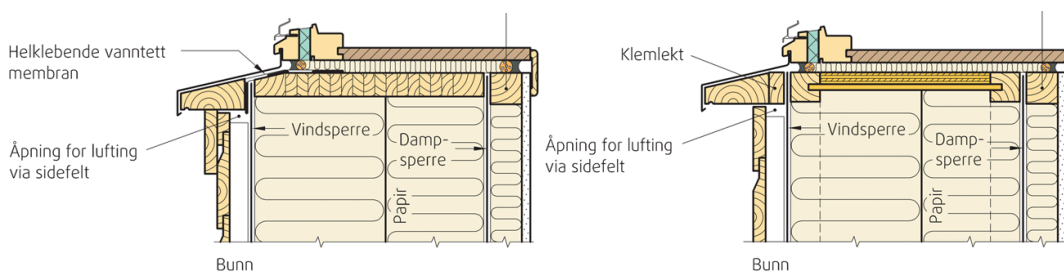
Løsningene er litt "annerledes" enn det byggebransjen er kjent med fra tidligere, og forutsetter derfor oppdaterte kunnskaper hos både de som prosjekterer og de som bygger. Løsningene er benyttet på passivhusprosjekter i Norge. Begge løsningene setter større krav til værbeskyttelse i byggeperioden enn for vanlige bindingsverksvegger (vist i [figur 2](#)). Løsningene setter også krav til at ringmur og/eller sokkelløsning er tilpasset veggene med tanke på både kuldebrobryting og overføring av laster ned i grunnen.



Figur 3a og 3b: Eksempel på oppbygging av trevegger med hhv. utenpåliggende isolasjon og dobbelt bindingsverksvegg.

Innsetting av vinduer i bindingsverksvegger i passivhus

I passivhus må kuldebrovarmetapet begrenses. Det gjelder også kuldebroene i forbindelse med innsetting av vinduer og dører. Da bør vinduet trekkes noe inn i vegg, slik [figur 4a](#) viser. Når vinduets $U\text{-verdi} = 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$, og vinduet er trukket ca. 30 mm innenfor vindspærresjiktet, gir det en kuldebroverdi på $\psi = \text{ca. } 0,02 \text{ W/m}$. Løsningen er imidlertid sårbar for vannlekkasjer inn i vegg ved moderate eller store slagregnpåkjenninger, og slike påkjenninger har vi de fleste steder i Norge. Da må det iverksettes spesielle tiltak for å sikre mot lekkasjer, som for eks. å bruke membran mellom vindspærresjiktet og vinduskarmen i smyget rundt vinduet. En langt mer fuktsikker løsning vil, være å plassere vinduet i plan med vindspærresjiktet, se [figur 4b](#). Når vinduets $U\text{-verdi} = 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ gir dette det en kuldebroverdi på $\psi = \text{ca. } 0,03 \text{ W/m}$. Som vi ser er forskjellen i kuldebroverdi liten. Som nevnt ovenfor, kan mange slike kuldebroer i sum likevel ha stor betydning.

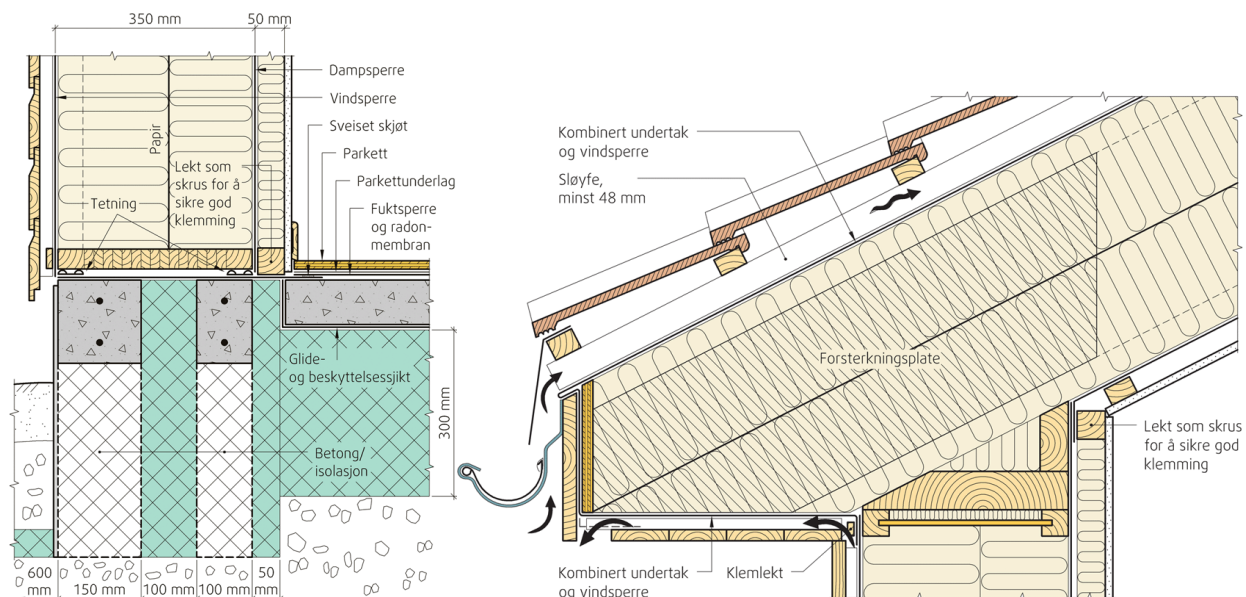


Figur 4a og 4b: Innsetting av vindu. Med $U\text{-verdi} = 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ på vinduet og vinduet trukket ca. 30 mm innenfor vindsperra, gir det kuldebroverdi på $\psi = \text{ca. } 0,02 \text{ W/m}$. En mer fuktsikker løsning er å plassere vinduet i plan med vindsperra, Da gir det kuldebroverdi på $\psi = \text{ca. } 0,03 \text{ W/m}$.

Overgang mot ringmur

Alle overganger mot tilstøtende bygningsdeler er kritiske med tanke på både lufttethet, kuldebroer og fuktsikring. Mot sokkel eller ringmur må man i tillegg ha gode løsninger for å overføre laster ned i grunnen. Det er derfor behov for utvikling av flere ringmursløsninger som er tilpasset både veggtykkelse og veggtype for

passivhus. **Figur 5** viser eksempel på overgang mellom bindingsverksvegg i passivhus og ringmur tilpasset veggtykkelsen. I tillegg gir løsningen akseptabel lav kuldebroverdi på $\psi = \text{ca. } 0,06 \text{ W/m}$.



Figur 5: Overgang mot ringmur. **Figur 6:** Overgang mot tak. Her er det kombinerte undertak- og vindsperrersjiktet i taket ført kontinuerlig rundt raftekassa, fordi det er enkelt å utføre på byggeplassen. Det sikrer god lufttetthet.

Referanser

- [Bøhlerengen 2012] Bøhlerengen, Trond. *Passivhus i tre. Eksempler på detaljer for varmeisolerings og tetting*. Byggforskserien, Byggdetaljer 472.435. Oslo: SINTEF Byggforsk (2012)
- [CEPHEUS 2001] CEPHEUS – Cost Efficient Passive Houses as European Standards. Prosjekt innenfor EUs THERMIEprogram med serie prosjektrapporter (*Prosjektinformasjon*) og tilhørende sammendrag (*Kurzdokumentation*). Forfattere fra hhv. Energieinstitut Vorarlberg (Prosjektinformasjon Nr. 25, 27, 28. Dornbirn, 2001.) og Passivhausinstitut (Prosjektinformasjon Nr. 18-21. Hannover, 2001). Kan lastes ned på hhv. www.energieinstitut.at under Download\Bauen und Wohnen\CEPHEUS-Projekte og http://www.passiv.de/de/05_service/03_fachliteratur/030101_neubau_wohnungsbau/01_hannover_kronsberg/01_hannover_kronsberg.htm.
- [Feist 2005] Feist, Wolfgang. *Hochwärmedämmte Dächer – Einführung*. Bidrag i Protokollband Nr. 29. Darmstadt: Passivhausinstitut (2005)
- [IG Passivhaus ulike år]. Dokumentasjon av prosjekter som arkitekter og ingeniører har sendt inn til passivhausinstituttet for å bli godkjent som sertifisert passivhusplanlegger. Kan lastes ned på www.igpassivhaus.de under Info-Material\Objektdokumentationen.
- [Janson 2008] Janson, Ulla. *Passive houses in Sweden. Experiences from design and construction phase*. Lund: LTH (2008).
- [Kaufmann mfl. 2008] Kaufmann, Berthold, Markus John og Wolfgang Feist. *Optimierungsstrategien für das hochgedämmte Fenster*. Bidrag i Protokollband Nr. 37. Darmstadt: Passivhausinstitut (2008)
- [Klinski mfl. 2011] Klinski, Michael, Trond Bøhlerengen og Tor Helge Dokka. *Passivhusløsninger basert på trekonstruksjoner*. Prosjektrapport 86. Oslo: SINTEF Byggforsk (2011)
- [Klinski og Dokka 2012] Klinski, Michael og Tor Helge Dokka. *Passivhus. Eksempler på bygninger i Norge*. Byggforskserien, Byggdetaljer 321.521. Oslo: SINTEF Byggforsk (2012)

Andre referanser fra Byggforskserien:

Byggdetaljer 471.017 *Kuldebroer. Tabeller med kuldebroverdier*.

Byggdetaljer 471.012 *U-verdier. Vegger over terreng*.



TRONDHEIM, OCTOBER 21-23
FROM LOW ENERGY BUILDINGS TO
PLUS ENERGY DEVELOPMENTS

The full papers can be viewed at the conference web site www.passivhusnorden.no after the conference. Thanks to all the paper authors that have made a valuable contribution to the conference. Thanks also to the Scientific Committee for reviewing the papers.

The Scientific Committee of the Passivhus Norden 2012 conference has been:

Inger Andresen, Norwegian University of Science and Technology (NO)

Åke Blomsterberg, Lund University (SE)

Tor Helge Dokka, SINTEF Building and Infrastructure (NO)

Hans Eek, Passivhuscentrum (SE)

Per Heiselberg, University of Aalborg (DEN)

Anne Grete Hestnes, The Norwegian University of Science and Technology (NO)

Riikka Holopainen, VTT (FI)

Ulla Janson, MKB Fastighet (SE)

Timo Kalema, Tampere University (FI)

Gry Kongsli, the Norwegian State Housing Bank (NO)

Anne G. Lien, SINTEF Building and Infrastructure (NO)

Björn Marteinsson, Innovation Centre Iceland (IS)

Søren Pedersen, Passivhus.dk (DEN)

Tore Wigenstad, Enova SF (NO)

www.akademikaforlag.no



akademika
forlag