

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Institutt for matematiske realfag og teknologi, Universitetet for miljø- og biovitenskap høsten 2012. Rapporten "Byggtekniske utfordringer ved å bygge Bodø videregående skole som passivhus" er vår avsluttende oppgave for studieprogrammet Byggteknikk og Arkitektur. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Sweco Norge AS avdeling Trondheim, og omhandler den reelle byggingen av den nye videregående skolen i Bodø. Oppgavens omfang er på 30 studiepoeng med emnekode M30-IMT.

Vi har lenge vært interessert i utviklingen av passivhus, og med den pågående debatten angående myndighetenes energistrategi ville oppgaven være aktuell. Dette har vært en lærerik oppgave hvor vi har benyttet ulike erfaringer fra emner innenfor byggteknikk, arkitektur og bygningsfysiske simuleringer. Når den nye standarden NS2701:2012 kom i september kunne vi også vurdere de nyeste kravene som gjelder for yrkesbygg som passivhus.

I arbeidet med oppgaven vil vi takke Torgeir Lyngtveit ved IMT for veiledning og oppfølging. En stor takk retter vi også til Per Stig Solbakken i Sweco Norge AS, avdeling Trondheim, som gjennom oppgaven har vært svært behjelpelig med spørsmål rettet til byggeprosjektet i Bodø. Vi vil også takke produsenter og leverandører som med stor interesse har gitt informasjon og priser for de aktuelle bygningsdelene.

Til slutt vil vi takke våre foreldre for god støtte og korrekturlesing gjennom oppgavetiden!

Trondheim

06. Desember 2012

Sammendrag

I den siste tiden har det vært store diskusjoner rundt energistrategien som myndighetene skal sette for å redusere energibehovet og energibruken i Norge. Av det totale bygningsarealet i Norge utgjør yrkesbygg 125 millioner kvadratmeter. Dette er yrkesbygg som i stor grad er bygget før 1997 og av den grunn utgjør et stort energibehov på grunn av tynne ytterkonstruksjoner og store varmetap. Det skal bygges en ny videregående skole i Bodø. Før byggingen starter skal det gjøres en vurdering om hvorvidt det er mulig å utføre prosjektet etter passivhusstandarden. Varmetapene og energibehovet skal reduseres for å bygge et energieffektivt skolebygg.

Denne oppgaven tar for seg de passive tiltakene som må gjennomføres for at skolebygget skal tilfredstille den nye passivhusstandarden NS3701:2012. Nye Bodø vgs. er et tre etasjes bygg med totalt bruttoareal på 11 009 m². Nybygget skal være et knutepunkt blant de eksisterende bygningene og vil bli et signalbygg for skolens plassering i bybildet. De foreløpige planene av prosjektet viser at bygget har store glassarealer og skal i tillegg til de vanlige skolefasilitetene ha en stor verkstedhall i første etasje. Dette medfører områder som kan føre til byggtekniske utfordringer.

Etter å ha kartlagt kravene som må tilfredstilles og bestemt beregningsmetodene som skal brukes gjøres det en vurdering av hvilke tiltak som har størst potensial til å redusere varmetap. Ved å benytte en Simien simulering av forprosjektet (i forhold til TEK-10) bestemmes de tiltakene som skal forbedres. Første trinn i Kyotopyramiden er å redusere varmetap. Dette skal gjøres ved å bestemme materialer og sammensetninger i ytterkonstruksjoner og overganger som vi mener vil være de beste alternativene. Detaljene simuleres i programmet THERM for å få et nøyaktig resultat av kuldebroverdi og U-verdi. Sammenstillingen av de tiltakene som er gjort skal så føre til nye inndata i Simien. Programmet simulerer den forbedrede bygningen opp imot passivhusstandarden.

Det gjøres også en økonomisk vurdering av tiltakene i form av merkostnader. Økonomien i prosjektet skal så vurderes opp imot en eventuell støtte fra Enova. Resultatet av både den byggtekniske og den økonomiske vurderingen skal avgjøre lønnsomheten av oppgraderingen til passivhus. Den inntjente strømsparingen og merkostnaden etter gjennomførte tiltak vil da legge grunnlaget for om byggherren og investorer ønsker å sertifisere bygget som passivhus. Vi vil også se på holdninger til passivhus og vurdere noen arkitektoniske utforminger som vi mener kan gjøre passivhus mer spennende.

Abstract

Lately there have been major discussions around the authority's strategy for energy saving, in order to reduce the energy requirement and energy use in Norway. Commercial buildings make up about 125 million square meters of the total building area in Norway. These are buildings that are mainly built before 1997, and constitute a large energy loss due to thin outer constructions and large heat loss. There shall be a new high school built in Bodø. Before construction starts, it will be considered whether it is possible to carry out the project as a passive house. The total of heat losses and energy requirements should be reduced in order to build an energy efficient school building.

This paper discusses the passive measures that must be implemented for the school building to meet the new passive standard NS3701: 2012. The new school in Bodø is going to be a three-story building with a total floor area of 11 009 m². The new building will be a center among the existing buildings and be a signature building for the school's location in the city. The initial plans of the project shows that the building has large glass areas and in addition to the regular school facilities, it has a large workshop on the ground floor. This results in areas which may cause constructional challenges.

Having mapped out the requirements that must be met and determined which calculation methods to use, an assessment is made of the measures that have the greatest potential to reduce heat loss. By using a Simien simulation of the pilot project (in relation to TEK-10), we determine which measures must be improved. The first step in the Kyoto pyramid is to reduce heat loss. This will be done by determining the materials and compounds in outer constructions and transitions that we believe will be the best options. Details are simulated in THERM to get an accurate result of the values of thermal bridges and U-values. The combination of our choices should then lead to new input values in Simien. The program simulates the improved building up against the passive standard.

We also want to do an economic assessment of the measures in the form of increased cost. The economy of the project will then be weighed against a possible support from Enova. The results of both the constructional and economic assessment will then determine the profitability of the school to be upgraded to the passive standard. The power-earned savings and additional costs for the measures implemented will lay the foundation for the builder and investors wishing to certify the building as passive school. We will also look at attitudes to passive and consider some architectural designs that we believe can make passive houses more exciting.

Innhold

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Mål.....	1
1.2.1	Hovedmål	1
1.2.2	Delmål.....	1
1.3	Avgrensninger.....	2
1.4	Oppgavens oppbygging	2
1.5	Metode	3
2	Teori.....	4
2.1	Definisjoner	4
2.1.1	Passivhus	4
2.1.2	Energibehov.....	4
2.1.3	U-verdi	5
2.1.4	Kuldebroverdi	5
2.2	Passivhuskrav i skolebygg.....	5
2.2.1	Oppvarmingsbehov	6
2.2.2	Varmetap.....	7
2.2.3	Minstekrav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall	7
2.2.4	Krav til energiforsyning.....	9
2.3	Programmer	9
2.3.1	AutoCad	9
2.3.2	Simien	9
2.3.3	THERM	10
2.4	Utregningsmetoder	10
2.4.1	U-verdi	10
2.4.2	Kuldebroverdi, Ψ	12
2.4.3	Normalisert kuldebroverdi, Ψ''	13
2.5	Enova	14
3	Bodø videregående skole.	15
3.1	Prosjektet	15
3.2	Byggets beliggenhet	16
3.3	Nybygget.....	17

3.3.1	Bæresystemer.....	18
3.3.2	Klimaskjerm	18
3.4	Energikilder.....	19
3.5	Tekniske installasjoner	19
3.6	Flerfunksjonsbygg.....	20
3.7	Simien	21
4	Byggtekniske utfordringer i passivhus.....	24
4.1	Teknisk.....	24
4.2	Bygningens tetthet, lekkasjetall	26
4.2.1	Dampspærre.....	26
4.2.2	Vindspærre	27
4.2.3	Tetting rundt vinduer og dører.....	27
4.3	Vinduer, dører og porter	28
4.3.1	Vindu	28
4.3.2	Kuldebroverdier for vinduer.....	30
4.3.3	Vurdering av glassfasader og glassystemer.....	31
4.3.4	Dører.....	32
4.3.5	Porter.....	33
4.4	Materialliste	36
4.4.1	Isolasjon.....	36
4.4.2	Stenderverk	39
4.5	Vegg.....	43
4.6	Tak	45
4.7	Gulv.....	46
4.7.1	Gulv i hoveddelen.....	46
4.7.2	Gulv i verkstedet.....	47
4.8	Tilslutninger	48
4.8.1	Gesims	48
4.8.2	Etasjeskille	50
4.8.3	Grunnmur	52
4.8.4	Hjørne	56
4.8.5	Port	58
4.8.6	Takgjennomføring	60
4.9	Normalisert kuldebroverdi	63

5	Resultat.....	65
5.1	Økonomisk merkostnad	65
5.2	Resultat simulering.....	67
5.3	Strømsparing	69
6	Diskusjon	70
6.1	Vurdering av resultat.....	70
6.1.1	Tetthet	70
6.1.2	Soneinndeling av flerbruksbygg	71
6.1.3	Utførelse.....	71
6.2	Økonomisk vurdering	71
6.2.1	Støtte fra Enova.....	71
6.2.2	Investeringskalkulator	71
6.2.3	Vurdering.....	72
6.3	Holdninger til passivhus	73
6.3.1	Faktorer som påvirker synet til passivhusprosjekter	73
6.3.2	Fordeler	75
6.3.3	Grønn sertifisering.....	76
6.3.4	Pilotbygg og FutureBuilt	77
6.4	Arkitektonisk utforming	77
6.4.1	Utforming av byggekropp.....	78
6.4.2	Fasadesystemer	80
6.4.3	Solcellepanel.....	81
7	Konklusjon	83
8	Figurliste	85
9	Tabelliste	87
10	Kildeliste	88
11	Trykt vedleggsliste	92

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Energieffektiviseringen i byggebransjen er i stor endring. Både i 2007 og 2010 kom det nye tekniske forskrifter. Norges første passivhusstandard, NS3700 for boligbygg, kom i 2010. I høst kom NS3701, "Kriterier for passivhus og lavenergihus, yrkesbygg". Myndighetene ønsker at alle nybygg fra 2015 skal oppnå passivhusstandard og at vi skal nærme oss nullenergistandard innen 2020. Dette har skapt stor debatt i byggenæringen vedrørende dagens materialer, produkter og kunnskap. Det er også stor tvil om dette lar seg gjennomføre på så kort tid. Som et resultat av myndighetenes fremtidsmål har enkelte aktører dannet samspillsgrupper i tidlig prosjekteringsfase for å kartlegge potensialet ved hvert enkelte byggeprosjekt.

Når det skal bygges nye næringsbygg gir Enova støtte for at ansvarlig søker kan utarbeide en passivhusrapport for bygget. Denne rapporten tar for seg hva som må til for å gå fra TEK-10 til passivhusstandard med tanke på bygningsmessige utforminger, tekniske installasjoner og hvilken prisøkning dette vil gi. Dette gir så grunnlaget for hvor mye støtte man får fra Enova dersom det velges passivhusstandard.

Denne oppgaven er skrevet i samarbeid med Sweco. Sweco er et rådgivende selskap innen ingeniør- og miljøfaglige tjenester for både planlegging og prosjektering.

I Bodø skal den videregående skolen utbedres. Her skal noen av de gamle bygningene rehabiliteres og det skal bygges et nytt hovedbygg. Som en del av samspillsgruppa til nye Bodø vgs., skal Sweco utarbeide en passivhusrapport for nybygget. Vi skal i oppgaven se på hva som må til for å oppnå passivhusstandard på nybygget og hvilke utfordringer dette vil gi.

1.2 Mål

1.2.1 Hovedmål

Vurdere om det er mulig å oppnå passivhusstandard på Bodø vgs. Finne gode løsninger for å tilfredsstille de byggetekniske kravene i passivhusstandard.

Utforme de detaljene på bygget som vil gi de største varmetapene, slik at den normaliserte kuldebroverdien blir godkjent.

1.2.2 Delmål

Gjøre rede for energibesparelsen ved bruk av passivhusstandard i offentlige bygg, i dette tilfellet kategorien skolebygg.

Se på holdninger til passivhus. Vurdere hva som må til for at en byggherre vil vurdere finansiering av passivhusstandard. Se på økonomiens rolle i passivhusprosjekter.

Gjøre en vurdering av arkitektoniske utforminger ved passivhus. Velge ut enkelte konstruksjonsdeler som kan være avgjørende for å tilfredsstille krav.

1.3 Avgrensninger

Det å vurdere passivhusstandard på et nytt skolebygg på hele 11 000 m² vil være et stort prosjekt. På grunn av bredden på temaet vil vi her definere avgrensningene.

Sweco ønsker at vi, gjennom denne oppgaven, skal se på den delen av Enovareporten som går på det byggtekniske. Dette både med tanke på hva som må til for å få bygget opp på passivhusstandard og hvordan dette kan utføres på best mulig måte på byggeplassen. De viktigste faktorene som går på det byggningsfysiske vil derfor være U-verdier og kuldebroverdier i tillegg til god tetthet.

Byggets arkitektoniske utforming vil ha mye å si for om det er mulig å oppnå passivhusstandard. Da byggingen ikke har startet vil det være mulig at utformingen forandrer seg i løpet av oppgavetiden. Vi går derfor ut fra de tegninger og mål som vi fikk av Sweco ved oppgavestart. I tillegg til tegningene har vi også mottatt en Simienfil fra Sweco som inneholder relevante inndata for bruk i oppgaven. Siden tegningene og Simienfilen ikke alltid oppgir like verdier, benytter vi Simienfilen der det er avvik. Dette gjelder også dimensjonering og valg av bæresystemer, som er fastsatt ut ifra lastberegninger.

Skal man kunne vurdere om passivhuskravene tilfredsstilles må en også nå kravene på de tekniske installasjonene. Simienfilen vi mottok ved oppstart, oppgir hvilke energikilder som skal benyttes og hvordan de tekniske installasjonene skal drives. Dette bruker vi som bakgrunn for våre beregninger. Vi vil ikke vurdere energikilder utover dette, og for de tekniske installasjoner vil vi kun se på de relevante verdiene som påvirker passivhuskravet.

I et stort skolebygg er det mange detaljer som kan vurderes, men for å begrense oppgaven har vi valgt ut noen tilslutningstyper som vi skal se nærmere på. Dette er tilslutninger som ofte gir store varmetap på grunn av kuldebroer. Vi skal også se på noen detaljer Sweco ønsker, som vil være spesielt for dette prosjektet.

Den økonomiske siden av prosjektet vil også belyses, men vi skal ikke gjøre en fullstendig økonomisk utredning. Vi vil på best mulig måte prøve å finne merkostnader ved å bygge skolen som passivhus.

1.4 Oppgavens oppbygging

Oppgaven er delt opp i seks deler, som består av innledning, teori, Bodø vgs., byggtekniske utfordringer, resultat og vurdering. Innledningsdelen gir en oversikt over oppgaven som helhet. Slik kan leserne enkelt få et innblikk i oppgaven. I teoridelen tar vi for oss de ulike komponentene som ligger til grunn for oppgaven. Her beskrives blant annet standardene, programmene og utregningsmetodene vi benytter oss av. Deretter kommer delen om Bodø vgs., hvor prosjektet beskrives slik det er tenkt pr. i dag. Her kommer vårt bakgrunnsmaterieell og en oversikt over hvordan man best kommer innenfor kravene.

Hoveddelen tar for seg de byggtekniske utfordringene i passivhus. Hvilke materialer som bør brukes og hvordan bygge opp ytterkonstruksjonene. Videre tar vi for oss byggets "kalde punkter" og hvordan disse kan forhindres. Resultatene viser hvilke løsninger vi velger å bruke i prosjektet. Her presenteres en Enovareport med våre komponentverdier og merkostnader. Så vil vi vurdere om dette er tilstrekkelig for å oppnå passivhusstandard på bygget og om det vil være mulighet for støtte fra Enova. Vi ser på økonomiens rolle rundt passivhus og hva som må til for at flere skal velge passivhusstandard fremfor TEK-10. Til sist ser vi på noen arkitektoniske utfordringer ved å bygge passivt.

1.5 Metode

Denne oppgaven er bygd på den reelle vurderingen og utredningen av å bygge nye Bodø videregående skole som passivhus. Parallelt med oppgaveskrivingen utfører Sweco en lignende utredning som i forprosjektstadiet blir avgjørende for valg av utførelse og detaljering.

Oppgaven tar utgangspunkt i de fullførte prosjektdokumentene fra anbudskonkurransen. I løpet av sommeren 2012 har Sweco utført en simulering opp imot Byggteknisk forskrift av 2010, med de installasjonene og den oppbyggingen av bygget som ligger til grunn for byggeprosjektet. Ved å benytte prosjektdokumenter og resultatene fra simuleringen skal vi så gjøre en detaljert byggteknisk vurdering av potensialet og muligheten for å følge passivhuskravene i forskriften og NS3701.

Vurderingen skal i første omgang ta tak i hvilket tiltak som mest effektivt reduserer energibehovet. Dette gjelder for eksempel materialvalg og sammensetting. Ulike bygningsdeler som vinduer, dører og porter vurderes på bakgrunn av informasjon fra leverandører og produsenter. På denne måten velger vi ut bygningsdeler og tilslutninger vi skal se nærmere på. Det skal gjøres beregninger av U-verdier og kuldebroverdier, som kontinuerlig måles opp imot kravene. Det skal brukes dataprogrammer for å oppnå minst mulig feilmargin av resultatene.

Ved endt evaluering av bygningskroppen skal det gjøres en endelig simulering over hele bygget. Vi skal benytte Enovas "Utredning av passivhus"-rapport for å få en faktisk vurdering av økonomien i dette, samt lage en oversikt over strømsparingen en får i etterkant. Til slutt vurderes det endelige resultatet opp mot en eventuell støtte fra Enova. Her skal vi benytte oss av prosjektets kalkulator i HENT samt kontakte ulike leverandører av spesialprodukter. Ved hjelp av kalkyler, nedbetalingsplaner og mulighet for støtte fra Enova, vil vi kunne komme med en vurdering av lønnsomheten i prosjektet.

2 Teori

Å bygge passivhus fører til flere vurderinger helt ifra valg av energikilder og ned til planlegging av små byggedetaljer. Interessen for temaet har økt og flere aktører har startet arbeidet for sammen å kunne nå målet om et mer energieffektivt Norge.

Figuren ved siden av viser Kyoto-pyramiden, som er en framstilling av faktorer som legges til grunn for å bygge passivt. Pyramiden viser en strategi kalt passiv energidesign. Her starter man nederst og jobber seg gjennom alle punktene som trengs for å planlegge et passivhus. For å forenkle arbeidet har det kommet egne passivhusstandarder både for boligbygg og yrkesbygg. Det er også utviklet programvarer som

simulerer og vurderer bygningens energibruk mot krav, termisk komfort og brukervennlighet. Dette kapittelet beskriver de nye standardkravene, forklarer hvilke programmer som benyttes og gir en kort innføring i utrekningsmetoder for energivurderingene som skal gjøres.[1]



Figur 1 Kyotopyramiden [Husbanken.no]

2.1 Definisjoner

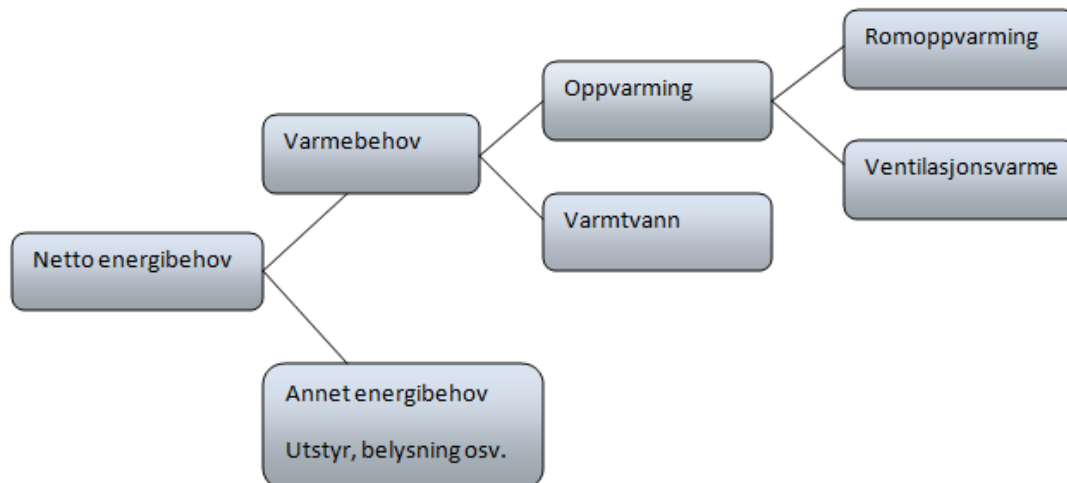
2.1.1 Passivhus

Ordet passivhus kommer av at man benytter passive tiltak til å redusere energiforbruket i bygninger. Mer isolasjon, bedre vinduer, varmegjenvinning og en tettere bygningskropp er eksempler på passive tiltak som sammen reduserer varmetapet og gjør bygget mer energieffektivt. Det gjøres også vurderinger med tanke på miljøvennlige energiforsyninger til bygget, også kalt aktive tiltak. 38 % av energiforbruket i Norge kommer fra bygninger. Målet med passivhus er å redusere bygningenes energibehov med 75 % av dagens forbruk.[2][3]

I Norge sertifiseres bygninger som passivhus ved å oppfylle de strenge kriteriene i standardene NS3700 og NS370 i tillegg til Byggteknisk forskrift og Plan- og bygningsloven. Passivhus vil være en langsiktig investering med høyere byggekostnad men med lavere energiutgifter i fremtiden.

2.1.2 Energibehov

Netto energibehov (kWh/m²år) sier hvor mye energi som totalt trengs for å drive og bruke bygget. Energibehovet deles inn i ulike poster hvor varmebehovet er den posten som har størst potensial til reduksjon ved å bygge etter passivhusstandarden. Varmebehovet deles så inn i egne kategorier som vist i figuren nedenfor.[4]



Figur 2 Energifordeling

2.1.3 U-verdi

Varmegjennomgangskoeffisienten, U, er en verdi som beskriver varmetransporteringsevnen gjennom de ulike konstruksjonsdelene, det vil si bygningsdelens varmeisolerende evne. U-verdien angir mengde varme som passerer mellom konstruksjonens to kanter. Verdien oppgis i $W/(m^2K)$, den mengden varme som passerer en kvadratmeter av konstruksjonen ved temperaturforskjell (kelvin). En lav U-verdi tilsier en godt isolert konstruksjon med lav varmeledning. TEK-10 og passivhusstandardene oppgir krav til U-verdier i bygningsdeler. Kravet som skal tilfredsstilles gjelder som gjennomsnitt av U-verdien for hver enkelt bygningsdel.

2.1.4 Kuldebroverdi

Kuldebroverdi er den lineære varmegjennomgangskoeffisienten for deler av en bygningsdel med lavere isolasjonsevne enn de omliggende delene. Hver enkelt kuldebroverdi oppgis som W/mK og brukes for å finne den normaliserte kuldebroverdien for hele bygningen. Verdien forteller hvor stor økning varmetap som forekommer ved materialvariasjoner i bygningsdeler (materialbasert kuldebro), hvor materialet har ulik tykkelse og ved arealforskjeller fra innvendig og utvendig side av klimaskjermen (geometrisk kuldebro). Kravet fra standardene er representert med maksimal normalisert kuldebroverdi for hele bygget.

2.2 Passivhuskrav i skolebygg

De grunnleggende kravene for energisparing i bygg i Norge er beskrevet i Byggteknisk forskrift fra 2010 (forkortet til TEK-10), § 14 Energieffektivitet. Her kommer også skolebygg inn som en egen bygningskategori, hvor kravene er tilpasset den bruken som er forventet i bygget. Over dette har det nå også kommet egne passivhuskrav med strengere kriterier for å oppnå enda mer energisparing og for å redusere energibehovet. Denne oppgaven baseres på kravene gitt i TEK-10 og den nye standarden NS3701:2012 "Kriterier for passivhus og lavenergibygg, yrkesbygg".

Frem til september 2012 har det vært Sintef Byggforsk Prosjektrapport 42 som har vært den gjeldende standardiseringen for passivhuskrav til yrkesbygg i Norge. På grunn av at den nye standarden kom i løpet av oppgaveskrivingen har vi tatt hensyn til enkelte regler fra Prosjektrapport 42 som ikke lenger er gjeldene. Den nye standarden skal, i tillegg til å gi konkrete krav til passivhus,

sette strengere krav til bygningskomponenter og materialer og bidra til utførelseskrav for det byggtekniske arbeidet.

I og med at nybygget i Bodø vil være et flerfunksjonsbygg må oppgaven tilfredsstillere kravene i både bygningskategorien Skolebygg (sone 1) og Lett industribygg/verksted (sone 2). Siden skolebygget har strengere krav er det i første omgang disse vi ønsker å tilfredsstillere. Videre beskrivelser av de relevante kravene deles inn i egne avsnitt.

For de fleste av tabelloppslagene i standarden bestemmes kravet ut ifra oppvarmet bruksareal, A_{fl} , som for Bodø videregående skole vil være om lag 11 000 m². Dersom det er nødvendig å dele inn i to soner vil "hovedsonen" være 9300 m² og "verkstedssonen" 1700 m².

2.2.1 Oppvarmingsbehov

Et av de viktigste kravene for å få sertifisert passivhusstandard på et nybygg er oppvarmingsbehovet. Fra TEK-10 fastsettes dette som en del av det totale netto energibehovet, § 14,4. Energirammene for et skolebygg er 120 kWh/m²år mens et verksted har 175 kWh/m²år. Det oppgis også at verdien for verkstedet kan økes til 190 kWh/m²år dersom varmegjenvinningen av ventilasjonsluften fører til forurensing.

Siden de største delene av energibehovet i nye bygg kommer av selve oppvarmingsbehovet tar den nye standarden fokuset fullt og helt på romoppvarming og ventilasjonsvarme. Dette vil si varme avgitt fra varmeanlegg og varmebatterier i ventilasjonsanlegg. Kravet til netto energibehov til oppvarming bestemmes ut ifra tabell 4 og 5 i NS3701.[4]

	Høyeste netto energibehov for oppvarming (kWh/ m ² år)	
Årsmiddeltemp.	Bygg med $A_{fl} < 1000m^2$	Bygg med $A_{fl} \geq 1000m^2$
$\geq 6,3 \text{ }^\circ\text{C}$	$E P_{H,0} + X \frac{(1000 - A_{fl})}{100}$	$E P_{H,0}$
$< 6,3 \text{ }^\circ\text{C}$	$E P_{H,0} + X \frac{(1000 - A_{fl})}{100} + (k_1 + k_2 \frac{(1000 - A_{fl})}{100})(6,3 - \theta_{ym})$	$E P_{H,0} + k_1 (6,3 - \theta_{ym})$

Tabell 1 Netto energibehov oppvarming [NS3701]

I og med at Bodø har en årsmiddeltemperatur, θ_{ym} på 5,4°C gir det oss variablene hentet fra tabellen nedenfor.

Variabel	Skolebygg	Verksted
A_{fl} , oppvarmet del av BRA	9 300m ²	Ca 1700m ²
$E P_{H,0}$, spesifikk oppvarmingsbehov	20	25
K_1 , klimakoeffisient	3,5	3,8
→ Beregnet krav, Energibehov for oppvarming	23,15 kWh/ m ² år	28,42 kWh/ m ² år

Tabell 2 Energibehov bygningskategori [NS3701]

Kjølebehov

Som et resultat fra TEK-10 kravet kommer det i passivhusstandarden også et krav vedrørende energibehovet for kjøling av romluft og tilluft. Kravet bestemmes ut ifra dimensjonerende utetemperatur ved sommerforhold, DUTs, en verdi som beskriver normale sommertemperaturer som kan føre til kjølebehov for å oppnå termisk komfort.

NS3701 sier at ved DUTs $\leq 20^\circ\text{C}$ skal kjølebehovet settes lik 0 kWh/m²år. Siden oppgitt DUTs for Bodø er 17,7°C, skal det ikke være kjølebehov for skolen. (Hentet fra tabell 6 i NS3701.)[4]

Øvrige energibehov

Med tanke på energibehov setter NS3701 krav til energibehov til belysning. Kravet hentes direkte ut ifra bygningskategori, og uttrykkes ved LENI (kWh/m²år). Høyeste beregnede energibehov for skole skal ikke overskride 9,9 kWh/m²år, og for verksted 10,5 kWh/m²år.

Til slutt kan det også nevnes at standarden ikke gir direkte krav til de øvrige energibehovene, men gir veiledende verdier for de interne varmetilskuddene som skal brukes i simuleringer. De interne varmetilskuddene, som blant annet personer og utstyr, hentes fra tillegg A.3 og settes inn i simuleringen for å bestemme netto energibehov for bygget.[4]

2.2.2 Varmetap

Med et redusert energibehov har man kommet et stykke på veien for å sertifiseres som passivhus. Men selv med et beregnet lavt energibehov er det minst like viktig å redusere varmetapet i konstruksjonene og de tekniske anleggene. Dette er også det første trinnet i Kyotopyramiden. Varmetapet deles ofte inn i tre deler; transmisjons-, infiltrasjons- og ventilasjonsvarmetap. (Kravene til ventilasjonsvarmetap kommer inn under infiltrasjonsvarmetapene.)

Transmisjonsvarmetap vil si varme som overføres gjennom en bygningskomponent/konstruksjon og som på grunn av materialer og oppbygging får et varmetap. Både NS3031 og NS3701 viser til at vi har ulike tilfeller av transmisjonsvarmetap. Vi har transmisjonsvarmetap mot det fri, mot uoppvarmet sone og mot grunnen (betegnet med H_D, H_U og H_g). Infiltrasjon vil derimot si uønskede luftutvekslinger fra utettheter i klimaskjermen. Disse varmetapene kommer ofte av lekkasjer fra ukontinuerlige sperresjikt. Infiltrasjonsvarmetapet betegnes som H_{inf}. [2]

Den nye passivhusstandard setter det totale varmetapstallet for transmisjon og infiltrasjon som et grunnleggende krav. Det totale varmetapstallet finnes med å dividere summen av H_D, H_U, H_g og H_{inf} på oppvarmet BRA, og kravet til høyeste verdi leses direkte ut ifra tabellen nedenfor.

Høyeste varmetapstall for transmisjon og infiltrasjon, H'' _{tr.inf.}	
Bygg med A _{fl} < 1 000 m ²	Bygg med A _{fl} ≥ 1 000 m ²
$H''_{tr.inf.0} + W \frac{(1000 - A_{fl})}{100}$	H'' _{tr.inf.0}

Tabell 3 Krav varmetapstall [NS3701]

Da både skoledelen og verkstedsdelen er over 1 000 m² bestemmes kravet ut ifra H''_{tr.inf.0} for de to bygningskategoriene.

Bygningskategori	Krav for transmisjons- og infiltrasjonsvarmetap
Skolebygg	0,40 W/m ² K
Lett industribygg/verksted	0,40 W/m ² K

Tabell 4 Varmetapstall bygningskategori [NS3701]

For å kunne tilfredsstillte varmetapskravet på 0,40 W/m²K er det mange detaljer og utfordringer rundt de ulike bygningsdelene som må vurderes. Det er derfor stilt egne minstekrav til forskjellige verdier som skal gjør det lettere å redusere varmetapet og tilfredsstillte passivhusstandard. [4]

2.2.3 Minstekrav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall

Noe av det som det har blitt mest fokusert på i det siste er minstekravene som er gitt i byggt teknisk forskrift og standardene. Minstekravene som har vært gitt som energiltak har vært tekniske verdier for varmetap via transmisjon, infiltrasjon og ventilasjon. Et eksempel på dette er krav til U-verdier i

bygningdeler. Disse virker inn på transmisjonsvarmetapet gjennom konstruksjonen. I tabellen nedenfor er det vist utviklingen av U-verdikravene til en ytterveggkonstruksjon.

TEK-10	Prosjektrapport 42	NS3701:2012
$\leq 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	Gått bort fra egne passivhuskrav på yttervegg, TEK-10 gjelder

Tabell 5 Eksempel krav U-verdi veggkonstruksjon

Det spesielle med dette er at NS3701 har gått helt bort fra å sette minstekrav til U-verdier for vegg, tak og gulv strengere enn TEK-10. Dette kommer trolig av at den økonomiske merkostnaden i å redusere U-verdien ytterligere i konstruksjonsdelene er høyere enn effekten med tanke på energisparing. Det er mange tiltak som reduserer energibehovet. Ser man på effekten av tiltakene er ikke tykkere ytterkonstruksjoner det mest lønnsomme. Dette vises bedre i neste kapittel.

De minstekravene som legges til grunn for denne oppgaven er hentet ut ifra NS3701 i tillegg til U-verdikravene for vegg, tak og gulv i Prosjektrapport 42. Nedenfor er det derfor vist en tabell over de kravene som skal tilfredsstilles.

Egenskap:	Verdi:
<i>Fra Prosjektrapport 42.</i>	
U-verdi yttervegg	$\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
U-verdi gulv	$\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
U-verdi tak	$\leq 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Fra NS3701:2012.</i>	
U-verdi vindu og dør*	$\leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
Normalisert kuldebroverdi, ψ''	$\leq 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner, η_T	$\geq 80 \%$ (Kan reduseres til $\geq 70 \%$ dersom varmegjenvinningen fører til risiko for spredning av forurensing og lignende.)
SFP-faktor ventilasjonsanlegg	$\leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
Lekkasjetall ved 50 Pa, n50	$\geq 0,60 \text{ h}^{-1}$

Tabell 6 Minstekrav [NS3701 og Prosjektrapport 42]

* Minstekravet gjelder som snitt for alle vinduer/vindusfelt i bygget. Skal et vindusprodukt kalles et "passivhusvindu", må det tilfredsstille kravet til $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ i standardstørrelse ($B \times H = 1,23 \times 1,48 \text{ m}$), og u-verdien må dokumenteres i henhold til NS3031.

I tillegg til tabellen ovenfor skal bygget også tilfredsstille de kravene fra TEK-10 som ikke er forandret i de nye standardene. En viktig huskeregel for vår del er kravet om at vindus- og dørrareal skal $\leq 20 \%$ av oppvarmet BRA. Det er også anbefalt mulighet for helg- og nattsinking av innetemperatur, for å redusere energibehovet utenfor driftstid.

Selv om NS3701 ikke oppgir minstekrav til U-verdier for ytterkonstruksjonene har standarden tatt med et tillegg med eksempelverdier. Dette er verdier som stort sett trengs for å kunne tilfredsstille de øvrige kravene.[4][5][6]

Egenskap:	Verdi passivhus:
U-verdi yttervegg	$\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
U-verdi gulv	$\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
U-verdi tak	$\leq 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabell 7 Eksempelverdier ytterkonstruksjoner [NS3701]

2.2.4 Krav til energiforsyning

Helt til slutt må en også huske kravet fra TEK-10 angående energiforsyning. Kravet her sier at minimum 60 % av netto oppvarmingsbehov i et bygg større enn 500 m², skal dekkes av annen energiforsyning enn direkte elektrisitet eller fossile brensel. Det er også forbud mot installasjoner av oljekjeler i nye bygg.

Med tanke på fjernvarme er det i plan og bygningsloven, § 27-5, bestemt at nye bygninger i områder med tilknytningsplikt skal ha varmeanlegg for fjernvarme til romoppvarming, ventilasjonsvarme og varmtvann.

De eneste kravene som gjenstår fra standardene og forskriftene er da rapportering og dokumentasjon av tiltak og resultater. Ved å bruke de nyeste programversjonene av enkelte dataprogrammer vil dette gjøres enkelt direkte i simuleringene.[6]

2.3 Programmer

I denne oppgaven benyttes det tre dataprogrammer som verktøy for tegning, beregning og simulering.

2.3.1 AutoCad

AutoCad er et tegneverktøy for konstruksjoner i 2D og 3D. Programmet er tilpasset BIM, og bidrar til en bedre forståelse for detaljer og materialbruk. I oppgaven skal AutoCad brukes for å lage detaljerte illustrasjoner for enkle bygningsdeler og tilslutninger. De ulike materialene som velges, og tykkelsene/dimensjonene på disse, tegnes opp for å tilfredsstillere passivhusstandard.

Vi benytter oss av studentversjonen av AutoCad 2012 som leveres av Autodesk.

2.3.2 Simien

Simien står for "Simulering av Inneklima og Energibruk i bygninger" og er et norskprodusert simuleringsprogram fra ProgramByggerne. Programmet gjør de dynamiske beregningene i henhold til NS3031. Verktøyet benyttes til å lage en reell modell av bygget med beskrivelser av bygningsdeler, de tekniske installasjonene, plassering og de oppgitte klimadataene, for så å simulere dette opp imot ønskede forskrifter. Vi benytter den nyeste versjonen 5.014, denne er gitt til oss som studentversjon gjennom UMB. Spesielt med denne versjonen er at programmet nå også gjør evalueringer opp imot den nye standarden NS3701. Evalueringsresultatet kan brukes som dokumentasjon og rapport av energiberegningen.

Allerede i oppstartsfasen i prosjekteringen foretok Sweco Norge AS en simulering på basis av det prosjektet som vant anbudskonkurransen. Denne simuleringen er gjort i forhold til TEK-10, og viser blant annet hvor de største varmetapene finnes.

I første rekke skal denne simuleringen være grunnlaget av forbedringspotensialet, og et hjelpemiddel for å bestemme tiltak som kan føre til passivhusstandard. Etter en runde med planlegging av nye detaljer, kan vi sette inn de nye verdiene i samme simuleringsfil og kjøre en ny simulering, denne gangen opp imot passivhuskravene i NS3701.

2.3.3 THERM

THERM er et simuleringsprogram som beregner og analyserer todimensjonal varmetransport gjennom konstruksjoner. Programmet er et FEM-analyse (Finite Elements Metode) program fra Microsoft Windows, som vi har fått tilgang til gjennom kurset TBA331. I programmet kan en tegne opp todimensjonale modeller av en bygningsdel eller en tilslutning, sette randbetingelser og simulere varmebevegelsene på tvers av konstruksjonen. Simuleringen tar hensyn til ute/innetemperatur og materialvalgets varmekonduktivitet og dimensjon. THERM beregner så de U-verdiene man ønsker med en tilhørende feilmargin. Feilmarginen kommer an på hvor kompleks geometrien er, en enkel yttervegg vil ha mindre feilmargin enn en komplisert tilslutning.

Vi benytter THERM 5.2 som i tillegg til simuleringsegenskapene kan importere underlagsfiler i dwg-format fra blant annet AutoCad. Dette gjør modelleringen enklere. Ved å vurdere varmebevegelsene vil vi se hvordan vi kan eliminere kuldebroene og slik unngå problemer med fukt og kondens.

For å beregne kuldebroverdier benyttes ligningen

$$\Psi_k = L^{2D} - \sum_i U_i \times l_i$$

Når THERM er beregningsprogrammet får vi gjennomsnittlig U-verdi for hele konstruksjonssnittet direkte. L^{2D} er da denne U-verdien multiplisert med lengden den er beregnet for. U_i og l_i vil være henholdsvis U-verdien og lengden til de ulike tilslutningsdelene beregnet hver for seg.[7]

2.4 Utrekningsmetoder

I tillegg til å utføre analyser i forhold til simuleringsprogrammer og verdier gitt i tabeller, skal vi også gjøre testberegninger for å kontrollere svarene. Dette er i hovedsak beregningene av U-verdier og kuldebroverdier. Vi har derfor beskrevet kort hvilke utrekningsmetoder som benyttes for oppgaven. Utrekningene gjøres i henhold til NS3031:2007 "Beregning av bygningers energiytelse, metode og data".[2]

2.4.1 U-verdi

Formelen for U-verdi er gitt som: $U = \frac{1}{R_T} + \Delta U$

R_T er total varmemotstand til bygningskomponenten og ΔU er et eventuelt tillegg på grunn av utforming eller utførelse. Eksempler på ΔU er utilsiktede hulrom i isolasjon og mekaniske festeanordninger som går gjennom isolasjonen. Vi tar ikke hensyn til disse tilleggene i våre beregninger.

R_T bestemmes ut ifra hvilke sjikt konstruksjonen har. Vi skiller mellom homogene og ikke-homogene sjikt. Homogent vil si at konstruksjonen ikke har flere materialer i samme sjikt, mens ikke-homogent kan ha flere materialer som for eksempel en bindingsverkvegg med både stenderverk og isolasjon. En typisk homogen konstruksjon kan være flatt tak med hulldekke, isolert med trykkfast isolasjon og tettet med asfalt takpapp. For å bestemme R_T har vi to formeler:

- R_T , homogent sjikt; $R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$

$R_1 + R_2 + \dots + R_n$ vil si summen av varmemotstander for hvert enkelt sjikt. Materialets varmemotstand R finnes ved formelen $R=d/\lambda$, hvor d er materialets tykkelse og λ materialets varmekonduktivitet/varmeledningsevne.

R_{si} og R_{se} er innvendig og utvendig varmeovergangskoeffisient, som i tabellen nedenfor er vist i forhold til retninger strømmen går. For en vegg vil strømretningen være horisontal, det vil si at vi benytter innvendig varmemotstand $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$, mens utvendig er $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$.

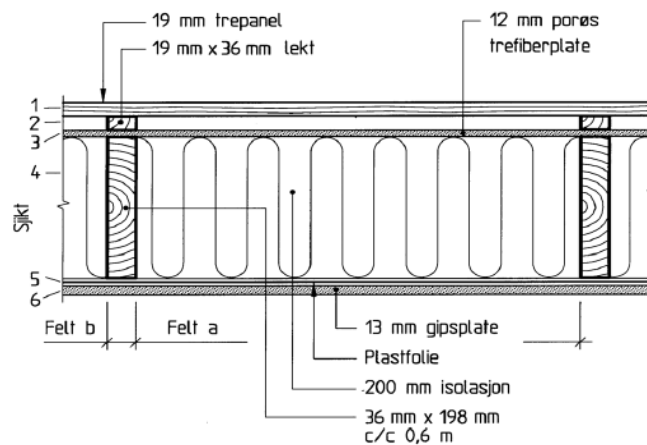
Overflate	Varmestrømretning		
	Oppover	Horisontalt	Nedover
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Tabell 8 Overflatemotstand [NBI 471.008]

- R_T , ikke-homogent sjikt; $R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2}$

R'_T er den øvre grensen av samlet varmemotstand og R''_T er den nedre grensen. Disse verdiene beregnes på ulike måter men tar utgangspunkt i det samme utsnittet som skal beregnes. Figuren til høyre viser et utsnitt av en

veggkonstruksjon med bindingsverk og isolasjon. Dette vil være en aktuell bygningsdel for bruk av øvre og nedre grense siden stenderne har ulik varmeledningsevne enn isolasjonen. Dette medfører en todimensjonal varmeledning og behov for beregning med grenseverdier. Som vi ser av figuren deles utsnittet inn i sjikt (de ulike komponentene fra utvendig til innvendig kledning) og felt (bindingsverk og isolasjonsfelt).



Figur 3 Utsnittsdetalj beregning [NBI 471.008]

Varmemotstanden for øvre grense beregnes med tanke på at varmemotstrømmen ikke beveger seg sideveis mellom materialene, varmen går ikke fritt fra isolasjonen til stenderverket. Øvre grense bestemmes av formelen nedenfor.

$$R'_T = \frac{\sum A}{\sum (A/R_T)} = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{Ta}} + \frac{A_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{R_{Tn}}}$$

A er her arealet for hvert felt, og R_T er den totale varmemotstanden i sjiktene i feltet (inkludert R_{si} og R_{se}).

Varmemotstanden for nedre grense sier derimot at det er uendelig god varmeledningsevne mellom materialene, noe som fører til at varmemotstrømmen kan gå gjennom ulike felt. Utrekningen av nedre grense er vist nedenfor.

$$R''_T = R_{si} + \sum R_X + R_{se}$$

R_{si} og R_{se} er som tidligere mens R_X er den resulterende varmemotstanden for materialsjiktene. R_X beregnes av formelen.

$$R_x = \frac{\sum A}{\sum R} = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{a1}} + \frac{A_b}{R_{b2}} + \dots + \frac{A_n}{R_{n6}}}$$

R er her varmemotstanden til et homogent sjikt i et felt, derav R_{a1} som eksempelvis er varmemotstanden til det ytterste sjiktet med trepanel i felt a. Etter å ha funnet øvre og nedre grenseverdi settes dette så inn i formelen for ikke-homogent sjikt, R_T . [8]

2.4.2 Kuldebroverdi, Ψ

Når det gjelder utrekningen av kuldebro kan man velge mellom ulike metoder. Man kan gjøre en grovestimering, finne tabelloppslag, utføre en manuell beregning eller benytte datametoder (FEM-analyse) for å ta en numerisk beregning. De ulike metodene medfører varierende usikkerhet på resultat. Man benytter ulike metoder ettersom hvor langt man har kommet med prosjekteringen. [9][10]

Det er her vist en liten tabell over usikkerheten en må regne med ved de ulike metodene.

Metode	Forventet usikkerhet for Ψ
Grovestimering/normalverdier	0 – 50 %
Kuldebrotabeller	+/- 20 %
Manuell beregning	+/- 20 %
Numerisk beregning	+/- 5 %

Tabell 9 Unøyaktighet metoder kuldebroverdi [Prosjektrapport 25]

Grovestimering og tabelloppslag medfører ingen spesielle beregninger, men finnes direkte i NBI Byggetalblad 471.016 og 471.017. Metoden for manuell beregning medfører mer regning og bygger på grunnligningen for varmestrøm gjennom en konstruksjonsdel, vist nedenfor.

$$\Phi = U \times A \times \Delta\theta = U_0 \times A \times \Delta\theta + \Psi \times L \times \Delta\theta$$

For å bestemme kuldebro omformes denne.

$$\Psi = (U - U_0) \times A / L = (U - U_0) \times b$$

U vil si U-verdien for konstruksjonen inkludert kuldebroeffekten, U_0 er U-verdien for tilsvarende konstruksjon uten kuldebro. A er arealet av utsnittet, L lengden og b bredden.

For manuelle utrekninger må en utføre beregninger med tanke på U-verdi først. På grunn av at kuldebroen ofte kommer av ikke-homogene sjikt må man benytte formlene vist i forrige avsnitt. En er da avhengig av å ha utregnet U-verdi med hensyn til øvre og nedre grenseverdi.

I denne oppgaven benyttes numeriske metoder for å bestemme kuldebroverdier. Vi bruker THERM for å finne varmestrøm og U-verdi for valgt tilslutning. Vi skiller her mellom konstruksjoner over bakken, og konstruksjoner på/under grunnen.

Etter å ha fått resultater i dataprogrammet omformuleres hovedligningen for varmestrøm, Φ , for å kunne benytte de verdiene som er funnet. Siden THERM beregner U-verdien for hele den valgte tilslutningen vil modellens resultat og størrelser gi følgende formel for kuldebroverdi over bakkeplan.

$$\Psi_k = L^{2D} - \sum_i U_i \times l_i$$

L^{2D} er lineær varmekoplingskoeffisient (W/mK). Den kan ved bruk av THERM finnes ved å multiplisere resultatet av U-verdien med den totale lengden på modellen. Simuleringen i THERM tar med hele tilslutningen, inkludert kuldebro.

U_i vil si U-verdiene for de ulike tilslutningene som er tilknyttet kuldebropunktet og l_i er lengden/høyden av disse. Denne formelen brukes til å fastsette kuldebroverdi for yttervegg/etasjeskille, yttervegg/tak, vindus- og dørrinnsettinger og hjørner.

Når det gjelder konstruksjoner på eller under bakkeplan må en kjøre to simuleringer. Den ene for hele tilslutningen, mens den andre for gulvet (uten kuldebroeffekten). Når en har simulert disse kan man sette det inn i formelen for å finne kuldebroverdien.

$$\Psi_g = L_1^{2D} - h_w U_w - L_2^{2D}$$

U_w og h_w er veggens U-verdi og høyde fra simuleringen, mens L_1^{2D} og L_2^{2D} er varmekoplingskoeffisienten fra simulering 1 (hele tilslutningen) og 2 (golv uten kuldebro). Ved å benytte Therm vil utrekningene av L_1^{2D} og L_2^{2D} være det samme som forklart ovenfor. Formelen for Ψ_g har også en alternativ ligning.

$$\Psi_g = L_1^{2D} - h_w U_w - 0,5 \times B' U_g$$

Her er L_2^{2D} erstattet med $0,5 \times B' U_g$ som kommer av en vurdering i henhold til golvets karakteristiske dimensjon B' . $0,5 \times B'$ vil da si dimensjonen/lengden av gulvet som skal medregnes i simuleringen, U_g er golvets U-verdi.[7]

2.4.3 Normalisert kuldebroverdi, Ψ''

Etter å ha beregnet varmetapet og kuldebroverdien av hver tilslutning i bygget kan man sette dette sammen for å bestemme den normaliserte kuldebroverdien. Ψ'' angir summen av det totale varmetapet fra alle kuldebroer dividert med det oppvarmede bruksarealet for bygget, og er vist med formelen:

$$\Psi'' = \frac{\sum_k \omega_k \times l_k + \sum_j X_j}{A_{fl}}$$

Ψ_k (vist som ω_k siden formelfunksjonen ikke har symbolet Ψ) og l_k er den lineære kuldebroverdien og lengden for de enkelte tilslutningene. X_j er kuldebroverdien for tredimensjonale kuldebroer, og A_{fl} er oppvarmet BRA.[2]

2.5 Enova

Enova SF eies av Olje- og energidepartementet og ble etablert av Stortinget i 2001. Gjennom støtte og rådgivning skal Enova fremme en miljøvennlig omlegging av energibruk og egenproduksjon. De bidrar også til utvikling av energiteknologi og klimateknologi.

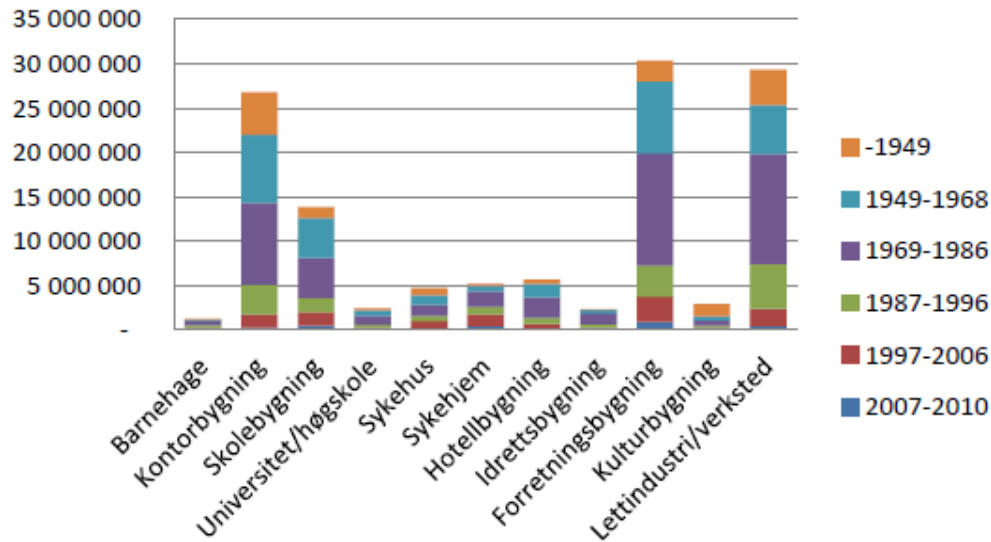
Det kan søkes støtte til utredning og bygging av passivhus, både som nybygg og rehabilitering. Med denne ordningen øker myndighetene interessen rundt bygging av passivhus både i privat og offentlig sektor. For Bodø vgs. vil det være naturlig å se på de støtteordninger som finnes for offentlige prosjekter.

I tidlig prosjekteringsfase kan det søkes støtte til utredning av passivhus. Ved å identifisere tiltak og kostnader vil man få et beslutningsgrunnlag for om det er hensiktsmessig å bygge passivt. Enova gir tilskudd opp til 50 % av kostnadene som er knyttet til utarbeiding av en rapport. Denne skal belyse hva som må til for å bygge passivt, med tanke på økt investering og forbedring av bygningskomponenter. Støtten man får vil være begrenset opp til 50 000 kr. Får man støtte er det krav til innlevering av sluttrapport.

Når sluttrapporten er levert og man velger å bygge prosjektet etter passivhusstandard, kan det søkes om investeringsstøtte. Man kan få støtte til merkostnader av fysiske tiltak, samt støtte til spesialrådgivning. Ved å benytte seg av Enovas investeringskalkulator får man raskt innblikk i merkostnader knyttet til byggingen og lønnsomheten av dette. Man kan få støtte opp til 60 % av merkostnadene. For offentlige nybygg begrenser det seg opp til 350 kr/m². For spesialrådgivning kan man få inntil 40 000 kr for yrkesbygg i alle kategorier og 60 000 kr for prosjekter som inkluderer flere byggkategorier.[11][12]

3 Bodø videregående skole.

I 2010 ble det estimert at det totale arealet av alle yrkesbygg i Norge var på omtrent 125 millioner kvadratmeter. De mest utbredte bygningskategoriene som betegnes som yrkesbygg er forretningsbygg, lettindustri/verksted og kontorbygg, som alle utgjør mellom 25-30 mill.m². Skolebygningene er den fjerde største bygningskategorien og hadde i 2010 et omtrent areal på 13 millioner m².^[13]



Figur 4 Totalt areal bygningskategori 2010 [POB 3/3]

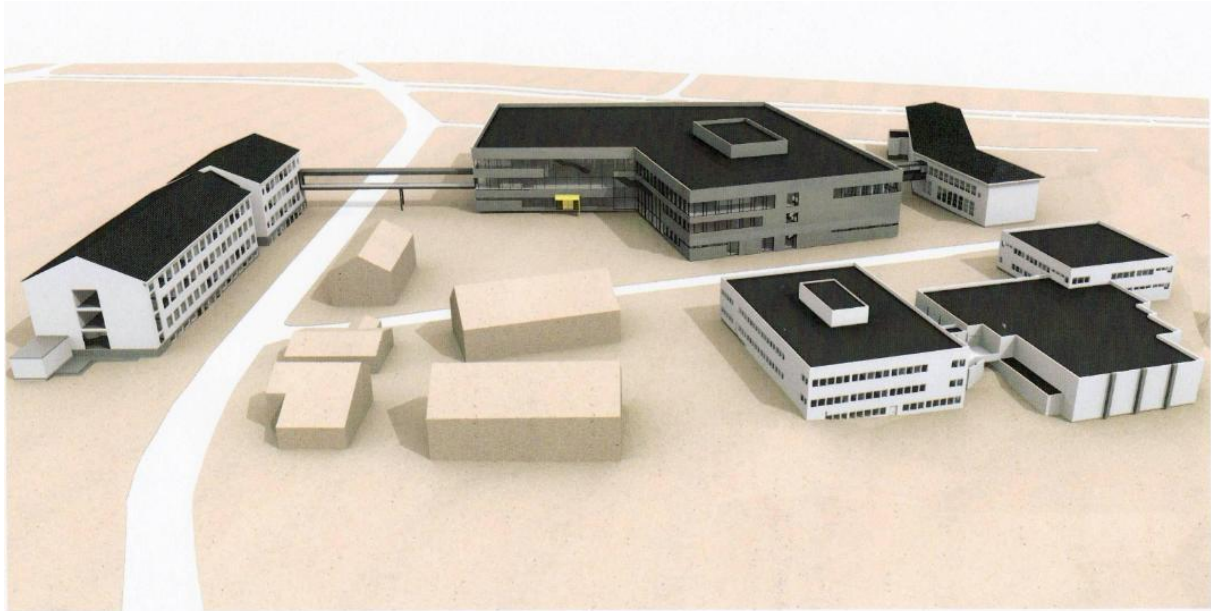
Som vi ser fra diagrammet ovenfor er de fleste skolebyggene per 2010 bygg fra 1986 eller eldre. For å vise et lite eksempel på hvilken tilstand disse byggene kan være i, kan vi se på forskriftskravene for energibehov tidligere i forhold til nå. I byggt teknisk forskrift fra 1969 (TEK-69) var kravet for å tilfredsstille netto energibehov for et skolebygg 284 kWh/m². Dagens passivhuskrav kan føre til et netto energibehov på opp imot 75 kWh/m². Dette viser at bygningsmassen med skoler i Norge har et potensial til energieffektivisering.

“Norske skoler kan redusere energiforbruket sitt med 90 prosent.” – Xavier Dequaire(isorasthus.no). Forskeren ved Høgskolen i Oslo mener at ved å bygge nye skoler som passivhus vil en både redusere energibehovet og øke komforten for elevene. På denne måten vil også driftskostnadene for fremtiden reduseres. I august 2010 var Norges første passivhusskole ferdig. Marienlyst skole i Drammen rommer 510 elever på ca. 6 500 m² og har et beregnet årlig netto energibehov på 70 kWh/m²år. Den nye skolen i Bodø er større, ligger i et kaldere klima og vil være et stort prosjekt for å kunne utføres som passivhus.^[14]

3.1 Prosjektet

Det skal restaureres og bygges ny videregående skole i Bodø. Ved å slå sammen den eksisterende Bodø vgs. og Asphaugen vgs. skal all studiespesialisering og yrkesfag samles på en skole. Formålet med dette er å få et helhetlig anlegg med et komplett studietilbud. Den planlagte skolen kommer til å bli den største skolen nord for Trondheim, med kapasitet til 1500 elever og 350 ansatte. I tillegg til de vanlige allmenne fagene skal skolen også inkludere bygg- og anleggsteknikk, elektrofag, restaurantfag og verkstedshaller for mekanikk.

Byggeprosjektet omfatter hele tomten med fire bygg. Her skal tre av byggene rehabiliteres, mens hovedbygget skal bygges helt nytt. Skolens nye bruttoareal skal etter ferdigstilling være 28 000 m², mens det planlagte nybygget skal være i overkant 11 000 m². Figuren som er vist nedenfor viser eksteriørperspektivet av tomten vist med gangveier, veier og de aktuelle byggene.



Figur 5 Eksteriørperspektiv Bodø vgs.

Som en ser skal nybygget ha forbindelser til de eksisterende byggene med gangbroer i 2. etasjeplan. Rehabiliteringen av de øvrige byggene skal ikke vurderes i denne oppgaven. Den totale kontraktsummen er 260 mill. kr. eks mva. Byggestarten var satt til sommeren 2012, men det har oppstått noen forsinkelser. Forventet ferdigstilling er 2014-2015.

3.2 Byggets beliggenhet

Helt fra starten av prosjekteringen har landskapsarkitekter vært inkludert for å få best mulig utnyttelse av tomten. Når det gjelder byggets beliggenhet må en ta hensyn til reguleringsplaner, eksisterende bebyggelse, himmelretning, sol/skygge, topografi, vegetasjon og det omliggende vegnettet. For oppgaven vil ikke reguleringsplaner og vurderinger av plasseringer på tomten være aktuelt, men faktorer som himmelretning og klimadata for Bodø er sentrale for vurderingen opp mot passivhus.

Nybygget som skal bygges er plassert sentralt midt i tomten som ligger i sentrum av Bodø. Bygget plasseres mellom Torvgata og Amtmann Heggnes vei og har hovedinngangen mot Torvgata. Med tanke på himmelretning vil den indre vinkelen være vendt mot nord, og ytre vinkel mot sør. Inngangsfasaden vil være



Figur 6 Utsnitt av detaljreguleringsplan for Bodø vgs. [bodo.kommune.no]

vendt mot nord.

De solutsatte fasadene vil være mot øst, sør og sør-vest. Himmelretningen er viktig med tanke på planløsning, solskjerming og vindusplassering. De solutsatte fasadene blir tatt hensyn til i Simien, ved å gi en faktor (absorbert solvarme) til fasaden. Med tanke på horisonten rundt bygget vil det ikke være noen hinder for sollys på noen av fasadene.

Det å bygge en skole i Bodø blir vurdert opp mot klimadata for stedet. Siden vi er så langt nord i landet vil temperaturer og tilgang til sol være redusert i forhold til et skolebygg i Oslo-området. Årsmiddeltemperaturen i Bodø er 5,4°C og dimensjonerende temperatur i sommerforhold er kun 17,7°C. Kravene for å oppnå passivhusstandard tar hensyn til klimadataene. Bodø er et veldig vindutsatt område og har en årsmidlet vindhastighet på 6,3 m/s. Siden tomten ligger sentralt i byen med omliggende bebyggelse vil den ikke være betydelig vindutsatt.

3.3 Nybygget

Nybygget skal ha et oppvarmet bruttoareal på 11 009 m² fordelt på tre etasjer. Ved å bygge i tre etasjer med store arealer får vi et større uteareal, samtidig som størrelsen på bygget viser funksjonen som et samlingssted for hele skoleanlegget. Bygget er formet i vinkel med en bredde på ca 40 m, ytre vinkelvegger på 67,5 m og indre vinkelvegger på 37,5 m. Grunnen til å bygge som en vinkel er å definere en indre- og en ytre sone. Den indre sonen av vinkelen er forbeholdt kommunikasjonsområde med kantine, mens den ytre er undervisningsrom. Fellesområdet er vendt mot byen og skolens uteområde, og vil være et visningsvindu for skolen mot byen.



Figur 7 Planløsning 1 etg.

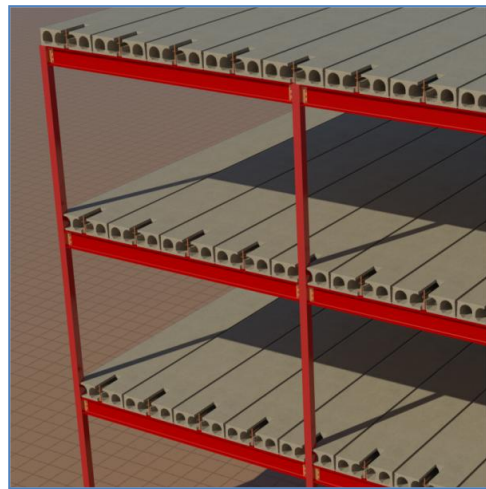
Bildet på forrige side viser den foreløpige planløsningen på 1. etasje med inngangsparti, fellesområde og de to verkstedsavdelingene. 1. etasje har en netto høyde på 4,5 m mens 2. og 3. etasje er 4,1 m. I verkstedshallen og i kommunikasjonsområdet vil etasjehøyden være høyere siden rommene kan gå over flere plan. Hele bygget er utformet med tanke på universell utforming, og romplanene er gjennomtenkt med hensyn til krav for dagslys/sollys. Planløsningene fra alle etasjene og fasadetegninger er vist i vedlegg A.

3.3.1 Bæresystemer

Bygget skal være et betongelementbygg med bæresystemer av stål og betongsøyler. Bæringen utføres av innvendige og "ytre" søyler, hvor de innvendige er runde betongelementsøyler, mens søylene mot ytterveggene er hulprofiler av stål. Stålsøylene settes opp i en modul med senteravstand på 2 500 mm. Bjelker er hyllebjelker av betongelement inne og stålprofiler IPE i yttervegger.

Etasjeskillene er av hulldekkelementer som har varierende tykkelse ut ifra spenn og belastning. Det skal også benyttes hulldekker i taket.

Siden det er planlagt stålprofiler for bæringen mot ytterveggene kan det oppstå et problem med tanke på kuldebro. På bakgrunn av dette er det ønskelig å trekke inn søylene slik at disse ikke blir inkludert i veggkonstruksjonen. Avstivningen av bygget vil være i trapp- og heissjakter i tillegg til vindfagverk av stål. Alt stål skal brannsikres.



Figur 8 Bæresystem [consolis.com/spenncon]

Det skal være direkte fundamentering på fundamenter og banketter, hvor dimensjonerende grunnspenning er 200 kN/m². Under etasjeskillene skal det være systemhimlinger med demonterbare mineralullplater.

Vi har ikke fått oppgitt dimensjoner på materialene så vi antar en hulldekketykkelse på 250 mm i taket og 300 mm for beregningen med etasjeskiller. Dimensjonene på søylene og bjelkene er henholdsvis IPE330 og kvadratiske hulprofiler på 160 mm.

Alle søyler og bjelker av stål skal brannsikres med isolasjon og gips. Med tanke på brannsikring kan det også nevnes at verkstedet skal ha brannceller separat fra skoledelen. På den måten får vi en ekstra brannsikring av verkstedet.

3.3.2 Klimaskjerm

Ytterkonstruksjonene i bygget har en stor rolle for vurderingen av passivhusstandard. Både planleggingen og utførelsen av detaljene er derfor avgjørende. For ytterveggene er det planlagt å bygge bindingsverksvegg på utsiden av bæresystemet for å unngå kuldebroer. Ytterveggene bygges opp av stenderverk med isolasjon og har stående trekledning av planker i ulike tykkelser. På innsiden av veggene skal det være dobbel gipskledning på grunn av brannkrav.

Taket skal være flatt tak med isolasjon og takbelegg på hulldekket. Her skal det være et fall på minimum 1:40 for drenering. For gulvet sin del skal det være ringmur i overgangen gulv/vegg. Gulvet skal ha ulike tykkelser med plastøpt betong.

Bygget ligger lunt med tanke på vind og har gode solforhold. Det er planlagt utstrakt bruk av glassvegger/fasader. Når det gjelder bruken av vindu og glassfasader er det viktig å holde seg til kravet om maksimalt vindu og dørareal på 20 % av oppvarmet BRA. Slik bygget er tenkt per i dag vil det være et glass/dør areal på 15,2 %. Vinduene vil også ha en dårligere U-verdi enn ytterveggen, så det er derfor viktig å vurdere produktene for å redusere varmetapet mest mulig. Dette gjelder også dører og porter, som må vurderes i forhold til U-verdi og luftlekkasje.

3.4 Energikilder

Som energikilder for bygget er det planlagt bruk av fjernvarme, varmepumpe og elektrisitet. Kravene til energikilde for oppvarming sier at 60 % av behovet skal dekkes av annen energikilde enn direkte elektrisitet eller bruk av fossile brensel. Dette oppnås ved å kun benytte fjernvarme og varmepumpe for å dekke oppvarmingsbehovet. Opplysningene som er gitt viser at det i hovedsak er varmepumpe som forsyner bygget for romoppvarming og energi til varmebatterier i ventilasjon, dette ved vannbåren varme. Varmepumpe står for 85 % av behovet, mens fjernvarmeanlegget forsyner de resterende 15 %. Når det gjelder oppvarming av tappevann er det satt en jevn fordeling mellom fjernvarme og varmepumpe (50 % hver).

Valg av fordelingen mellom varmepumpe og fjernvarme kommer av utetemperatur. Dersom det skulle være veldig lave temperaturer vil det ikke være lønnsomt å bruke varmepumpen. I disse tilfellene skal oppvarmingen komme fra fjernvarmeanlegget. Antagelsen som Sweco har gjort i forhold til dette er at varmepumpen skal levere energi ned til -5°C , mens fjernvarmen skal stå for energiforsyningen ved lavere temperaturer (-5 og ned mot DUT -13°C). Fjernvarmeanlegget skal kobles på nettet til Bodø Energi. (Energiprisen på fjernvarme og varmepumpe er 0,75 og 0,80 kr/kWh.)

Energiforsyningen fra direkte elektrisitet skal i hovedsak dekke det el. spesifikke energibehovet. Det vil si 100 % av forsyningen for belysning, utstyr, vifter og pumper. Det er også satt av 100 % for lokal kjøling og kjølebatterier i ventilasjon. Dette trengs ikke i skolebygget og er satt kun for å fullføre målene for simuleringen. (Energiprisen for elektrisitet er i simuleringen satt til 0,80 kr/kWh.) Dette viser at energikildene er innenfor rammene for å kunne oppnå passivhusstandard.

3.5 Tekniske installasjoner

Som nevnt innledningsvis i oppgaven vil ikke utførelser og vurderinger av tekniske installasjoner være aktuelt. Det vil likevel være enkelte avgjørende faktorer som påvirker energibehovet og målet om å bygge passivhus. I begrepet tekniske installasjoner menes ventilasjonsanlegget, varmesystemet og enkelte internlaste som påvirker energibehovet. Oppgitte data for anleggene er hentet fra konkurranseprosjektdokumenter og den oppgitte Simiensimuleringen.

I prosjektet er det planlagt et CAV-anlegg, det vil si et ventilasjonsanlegg med konstante luftmengder. Det finnes også ventilasjonsanlegg med variable luftmengder, VAV, men dette er foreløpig ikke valgt å benytte. Det skal være balansert ventilasjon med driftstid fra 07.00 til 17.00. Ventilasjonsanlegget har varmebatteri og varmegjenvinner og har en tilluftstemperatur på 19°C . Varmegjenvinnerens temperaturvirkningsgrad er satt til 75 %, noe som er for lite i henhold til passivhusstandarden. Med tanke på kravene i standardene finnes det en egen funksjon i Simien som reduserer kravene i forbindelse med spredning av smitte eller forurensing i vifteanlegget. Ved slike tilfeller kan

virkningsgraden reduseres til 70 %. Det er til nå ikke planlagt kjølebatterier i bygget, og det er heller ikke valgt nattkjøling.

SFP-faktoren, Specific Fan Power, er også en faktor i ventilasjonsanlegget som det er satt krav til. SFP beskriver viftens effektforbruk i forhold til levert luftmengde og er i planen satt til $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Kravet i NS3701 er mindre enn eller lik $1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

For varmesystemet er det oppgitt oppvarming med vannbårent distribusjonsanlegg.

Oppvarmingsanlegget har samme driftstid som ventilasjonssystemet og har settpunkttemperatur på 21°C i driftstiden og 19°C utenom driftstid. Kapasiteten til anlegget kan avgi en maksimal effekt på $50 \text{ W}/\text{m}^2$. Det oppgis ikke egen driftsstrategi for sommermånedene. Anlegget skal ha en turtemperatur på 60°C og en returtemperatur på 40°C , og ha en spesifikk pumpeeffekt (SPP) på $0,50 \text{ kW}/(\text{l}/\text{s})$.

Når det gjelder internlastene i bygget er det fokus på energibehovet for de øvrige installasjonene i løpet av driftstiden. Internlastene vil også påvirke varmetilskuddet, disse verdiene er hentet ut ifra NS3031 og settes inn i egne felter i Simien. Det gjennomsnittlige varmetilskuddet fra internlastene er satt til $7,1 \text{ W}/\text{m}^2$ over året. Det er regnet med internlaste som belysning, tappevann, teknisk utstyr og varmetilskudd fra personer. Nedenfor er det vist en tabell med de beregnede energibehovene for internlastene.

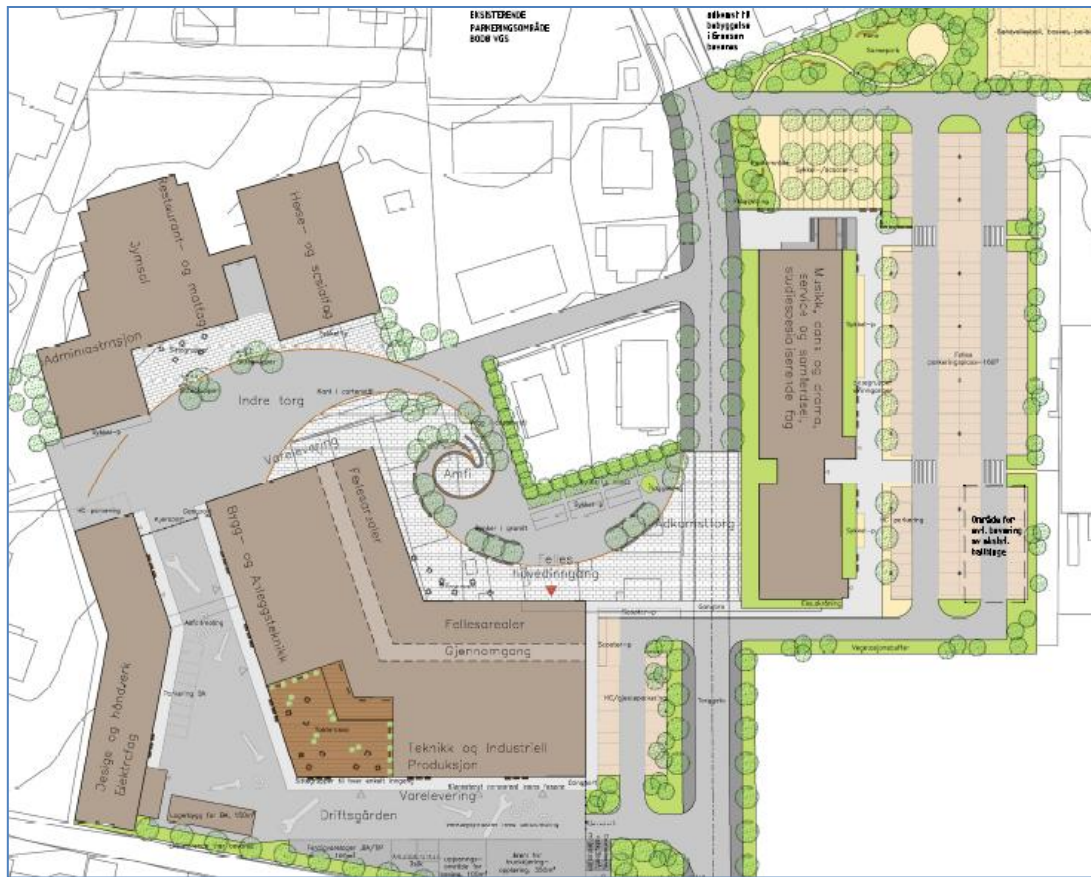
Internlast	Årlig energibruk
Belysning	$22,1 \text{ kWh}/\text{m}^2$
Tappevann	$13,3 \text{ kWh}/\text{m}^2$
Teknisk utstyr	$10,1 \text{ kWh}/\text{m}^2$

Tabell 10 Energibruk internlaste [Simien]

Opplysningene som er gitt er satt i forhold til bygget som en sone. Videre arbeid med oppgaven vil avdekke om det er nødvendig med bruk av separate soner, i forhold til at skolen rommer flere ulike funksjoner.

3.6 Flerfunksjonsbygg

En av de største utfordringene med Bodø vgs. er at bygget er et flerfunksjonsbygg med rom som har ulike bruksområder. Klasserommene i seg selv er ikke noe utfordring, men med en kantine og fellesområde over flere etasjer og ikke minst verkstedet kan bygget eventuelt deles inn i soner. I figuren nedenfor er det vist en situasjonsplan hvor de ulike byggene med tilhørende funksjoner er vist. Nybygget er her vist med fellesarealer og verkstedene, i tillegg til takterrassen som var planlagt i de første tegningene.



Figur 9 Situasjonsplan Bodø vgs.

Som nevnt kan vi dele bygget inn i to soner, hoveddelen og verkstedet. Dette kommer av flere faktorer. Viktigste er portene som trengs i verkstedet og at det er behov for større dimensjoner på gulvet. Det skal også sies at ved å ha den samme varmegjenvinningen i ventilasjonsanlegget for begge sonene, risikerer man forurensinger fra verkstedet. Kravene vil ikke være like strenge i et verksted. Det kan derfor være gunstig å separere sonene, dersom det blir problematisk å oppnå passivhusstandard for verkstedet.

3.7 Simien

Vedlagt i oppgaven ligger inndata og resultat fra simiensimuleringen som Sweco har utført i forkant av vårt prosjekt (vedlegg B og C). Denne filen viser hvilken linje de har lagt seg på i dagens situasjon og evalueres opp imot TEK-10. Her ser vi oppbygging og U-verdi av de ulike bygningskomponentene, hvilke energikilder de tenker å benytte seg av og hvordan disse skal benyttes gjennom året. Ved å kjøre en simulering av denne filen ser vi at det er mye som gjenstår for å nå passivhusstandard.

Vi velger å bruke denne filen som et verktøy, hvor vi kan forbedre ulike komponenter, og på denne måten kan vi raskt se hva som må forbedres. Selv om det er mye som kan forbedres i Simien er det noen faktorer som vil være bindende for dette prosjektet. Energikilder og tekniske installasjoner er noen av de faktorene som har størst betydning. Energiforsyningen er bindende og skal ikke gjøres om, da de valgte løsningene allerede tilfredsstillt kravene.

De tekniske installasjonene som ble beskrevet i forrige kapittel har gitte verdier som i første rekke skal stå uberørt. Faktorer som anleggenes effekt og driftstider er satt ut ifra brukers behov og vil bestå slik som tenkt i dag. Varmegjenvinnerens temperaturvirkningsgrad er en av faktorene som kan

forandres. Da den kan bestemmes ut ifra hvilket anlegg som er tilgjengelig på markedet og hvor god temperaturvirkningsgraden kan være.

I bygget er det et vindus- og dørareal på 15,2 % av bruksarealet. Dette arealet vil vi i første omgang la være uberørt. Dersom det viser seg at det ikke er gjennomførbart med størrelsene og totalarealet som er tenkt i prosjektet vil vi komme tilbake til dette i vurderingen.

Med dette som utgangspunkt forandrer vi på noen av komponentene i bygget. Dette gir oss nye sammensettinger som vi kan kjøre simuleringer på. Vi fører disse resultatene inn i en tabell for å få en god oversikt over hvilke tiltak som gir de største fordelene og hva som må forbedres ytterligere for å oppfylle de ulike kravene.

Nedenfor er det vist en tabell over tiltak og verdier for simuleringen av konstruksjonen i forhold til kravene. Den første kolonnen viser kravene i passivhusstandard. I den neste kolonnen er disse kravene satt inn i Simien og simulert. Som man ser vil det ikke være godt nok å ha godkjente enkeltkomponenter for å få et tilfredsstillende oppvarmingsbehov.

	Krav	Simulering 1	Simulering 2	Simulering 3	Simulering 4	Simulering 5
U-verdi Vegg:	0,15 W/m ² K	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10
U-verdi Tak:	0,13 W/m ² K	0,13	0,10	0,10	0,10	0,09
U-verdi Gulv:	0,15 W/m ² K	0,15	0,07*	0,07*	0,07*	0,06*
U-verdi Vinduer og dører:	0,80 W/m ² K	0,80	0,80	0,70	0,70	0,61
Normalisert Kuldebroverdi:	0,03 W/m ² K	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01
Totalt varmetapstall:	0,40	0,34	0,31	0,30	0,28	0,26
Netto oppvarmingsbehov:	23,2 kWh/m ²	31,5 kWh/m ²	29,0 kWh/m ²	27,5 kWh/m ²	25,6 kWh/m ²	23,1 kWh/m ²
Spesifikt energibehov:		73,2 kWh/m ²	70,6 kWh/m ²	69,1 kWh/m ²	67,2 kWh/m ²	64,8 kWh/m ²
Kommentar:		Simulering med minstekrav				GODKJENT

Tabell 11 Resultatvurderinger [Simien]

*Ekvivalent U-verdi som tar hensyn til grunnmur og gulvareal

Som tabellen viser må man stramme kraftig inn på alle bygningskomponenter for å få godkjent bygget som passivhus. Blant annet vil det være vanskelig å få vinduer og dører ned på en U-verdi på 0,61 W/m²K, selv om dette er et alternativ i Simien.

Kravet til varmegjenvinner er at den skal ha en temperaturvirkningsgrad på 80 %. Ser vi på tidligere passivhusprosjekter viser det seg at målinger i ettertid har gitt en temperaturvirkningsgrad helt opp på 86 %. Vi har sammenlignet med Marienlyst skole i Drammen og Åsveien Skole i Trondheim. Deres varmegjenvinnere har en temperaturvirkningsgrad på henholdsvis 86 % og 84 %. Det å øke

virkningsgraden vil gi større frihet til de øvrige komponentene. Vi velger derfor å kjøre noen nye simuleringer med 84 %.[15][16]

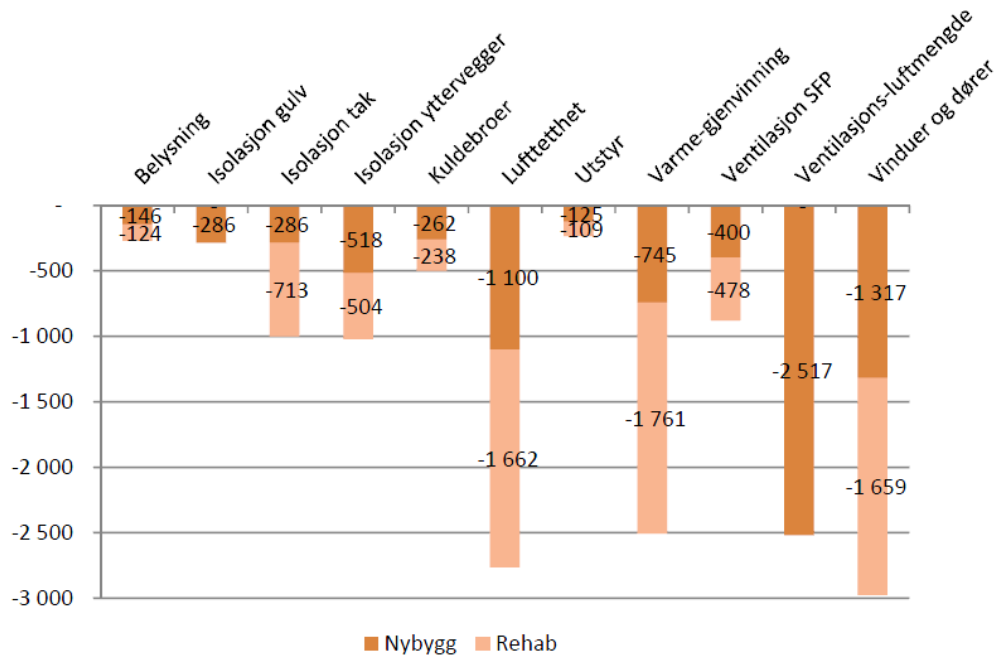
	Simulering 1	Simulering 2
U-verdi Vegg:	0,10	0,10
U-verdi Tak:	0,09	0,10
U-verdi Gulv:	0,06	0,07*
U-verdi Vinduer og dører:	0,61	0,70
Normalisert Kuldebroverdi:	0,01	0,03
Totalt varmetapstall:	0,26	0,30
Netto oppvarmingsbehov:	17,1 kWh/m ²	20,7 kWh/m ²
Spesifikt energibehov:	49,7 kWh/m ²	kWh/m ²
Kommentar:	Temperatur- virkningsgrad økt fra 80 % til 84 %	

Tabell 12 Resultatsimulering 2 [Simien]

Her ser vi at oppvarmingsbehovet har blitt redusert med 6 kWh/m² ved å øke systemvirkningsgraden. Til sammenligning ser vi på den første tabellen at lavere U-verdier på vegg, gulv og tak ga en reduksjon på kun 2,5 kWh/m². Samtidig vet vi at det skal mye ekstra materiale til for å senke U-verdiene ytterligere. Dette fører igjen til økt merkostnad. Vi velger å øke U-verdien på taket, gulvet og vinduene og setter kuldebroverdien til 0,03 W/m²K. Når vi kjører en simulering på dette ser vi at det er godt innenfor kravet til oppvarming. Med disse opplysningene har vi noen reelle verdier å jobbe ut i fra når vi skal vurdere de ulike bygningskomponentene videre.

4 Byggtekniske utfordringer i passivhus

Som vi ser fra Simientabellen i forrige kapittel må en vurdere hvilke tiltak som har størst potensial til å forbedre energieffektiviteten. Ved å prøvesimulere bygget ved forbedringer av enkelte tiltak har vi kommet fram til en rekke utfordringer som må vurderes. I en studie som er utført av Rambøll AS og Xrgia AS for Enova er det vurdert hvilke passive tiltak som kommer til å ha størst betydning for bygg. Det viser seg da at frem til 2040 vil vi ha et innsparingspotensial på om lag 15 TWh i forhold til dagens TEK-10 standard.



Figur 10 Diagram over potensial av passive tiltak for passivhus frem mot år 2040 [POB 3/3]

Ovenfor er det vist et diagram over potensialet for innsparinger i GWh for de ulike tiltakene. Her ser man at det er begrenset mulighet for innsparing bare ved å redusere U-verdien i ytterkonstruksjonene. Det er derimot avgjørende med gode tekniske installasjoner og gjennomført god utførelse av detaljer. Vi kan ut ifra vurderingene av den planlagte videregående skolen i Bodø og figuren ovenfor, trekke ut enkelte tiltak som kommer til å ha stor betydning for om man oppnår passivhusstandard. Vi skal i dette kapitlet ta for oss de utvalgte tiltakene og se på forbedringspotensialet.[13]

4.1 Teknisk

Som figuren ovenfor viser utgjør de tekniske installasjonene store deler av energipotensialet for nybygg. I følge Forskningsrådet går mellom 15 og 30 % av energiforbruket i yrkesbygg til viftedriften. I oppgaven skal det ikke gjøres omfattende vurderinger på teknisk utstyr, men det er tre faktorer som er så avgjørende at de må bestemmes i forhold til passivhuskravene.[17]

Det første vi ser på er varmegjenvinnerens temperaturvirkningsgrad. Tabellen over Simiensimuleringer i punkt 3.7 viser tydelig at en med fordel kan øke virkningsgraden på anlegget og dermed redusere energibehovet. Ved å sammenligne med lignende prosjekter for skolebygg, og vurdere muligheter for virkningsgradene øker vi verdier fra 75 % til 84 %. Man kan oppnå en bedre

varmegjenvinning ved for eksempel å installere en bedre rotorgjenvinner med større diameter, eller med tanke på viftevalg benytte sentrifugalvifte med bakoverbøyde skovler.

Dette gjelder også viftens SFP-faktor, som i en forprosjektstudie for Forskningsrådet viser at en enkelt kan halvere verdien fra 2,5 til 1,25 kW/(m³/s). Begrunnelsen for at dette vil være mulig er å øke tverrsnittsarealet på tilluftsiden slik at trykktapet over filtre, varme- og kjølebatteriene blir redusert. Det viste seg at SFP-faktoren fikk store forandringer bare ved å øke tilluft og redusere avtrekk med 5 %. Verdien vil også forbedres ved å ha kortere kanalføringer og mindre luftmotstand. I tillegg til den positive virkningen på viftekraften viste det seg også at lydnivået på anlegget ble redusert med 6 dB. I Simienfilen fra Sweco var SFP-faktoren satt til 2,0 kW/(m³/s), noe som ikke er tilfredsstillende for standarden, vi setter derfor verdien til 1,5 kW/(m³/s).[17]

Som den siste faktoren med tanke på vifte og ventilasjon har vi ventilasjonsluftmengden. Det er ikke så mye vi vet om luftmengden i bygget annet enn at anlegget er balansert med jevn tilluft/avtrekk. Tilluften og avtrekket i driftstiden er satt til 10,50 m³/hm², noe som virker som et fornuftig tall for en stor skole. Utenom driftstiden, som ettermiddager og i helger, er verdien satt til 3,0 m³/hm². Vi gjør ikke noe med disse verdiene. Det som kan bidra til å redusere energitapet på ventilasjonsluftmengden er å benytte et balansert behovsstyrt anlegg. Behovsstyringen styres av spjeld montert på anlegget som fører til at anlegget får en VAV funksjon. Denne behovsstyringen kan være individuell for hvert enkelt rom slik at det ikke oppstår unødvendig ventilering av rom som ikke er i bruk. Det kan også være turtallsregulering av viftene. Ved å benytte behovsstyring i anlegget vil vi kunne redusere unødig viftebruk og derav redusere energiforbruket.[13]

Som nevnt i kapittelet om Bodø vgs. er det ikke bestemt kjøling av bygget. Siden vi får oppgitt i Simien at det kan oppstå temperaturer over 26°C (mer enn 50 timer i året, DUT) er det ønskelig med en eller annen form for kjøling. Kravet for kjølebehov i dette passivhuset er null. For å tilfredsstille dette kan man benytte nattkjøling, som er en naturlig kjøling av bygget. Ved en slik kjøling går ventilasjonsanlegget og aggregatene fortsatt på kveldstid (eventuelt om natten ved høye dagtemperaturer) og suger inn den avkjølede luften utenfra. Når det skulle være behov for naturlig kjøling kobles varmegjenvinner og varme-/kjølebatterier ut, mens tilluftstemperaturen blir som utetemperaturen. Vi kan forebygge høye innetemperaturen sommerstid uten å benytte energi for kjøling.

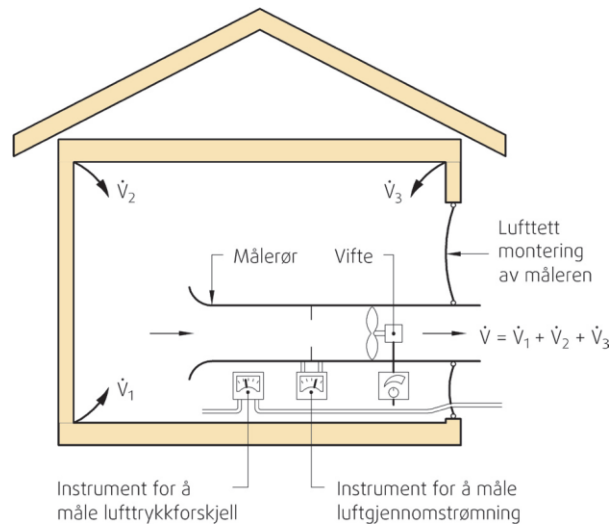
Til slutt må det nevnes at det for energiforbrukets del er lønnsomt å benytte teknisk utstyr med god energieffektivitet som for eksempel LED belysning. Dette vil ikke virke inn på simuleringene, men vil påvirke energibehovet i fremtiden. Når det gjelder belysning er det et krav i standarden at minst 60 % av avgitt effekt til belysning skal være underlagt dagslysstyring. Det er også et minstekrav at hvert rom, eller for hver 30 m² i større rom, skal ha behovsstyring av belysningen som går på tilstedeværelse. Disse kriteriene antar vi at er tilfredsstillt. Standarden oppgir også maksimalt energibehov for belysning på 9,9 kWh/m²år som oppnås ved å redusere den midlere effekten i driftstiden (fra 10,5 til 4,5 W/m²). Internlastene som var nevnt avslutningsvis i avsnitt 3.5 gjøres om til de gitte verdiene i tillegg A.3 i NS3701.

De tiltakene som gjøres for tekniske utstyr vil i Kyotopyramiden være trinn 1 og 2. Vi reduserer varmetapet ved å forbedre anleggene, mens vi effektiviserer el. forbruket ved å redusere luftmengder og benytter energieffektivt utstyr. For de fleste av tiltakene nevnt i dette avsnittet vil de forbedrede anleggene også få en lengre levetid som igjen fører til merverdi av driften i fremtiden.

4.2 Bygningens tetthet, lekkasjetall

De tekniske installasjonene i bygget og faktorer som varmegjenvinningens virkningsgrad forbedres også ved å påse at bygget er tett. Tetthet er avgjørende for energigjerrige bygg. I passivhusstandarden benevnes dette som lekkasjetall. Lekkasjetallet er en verdi som viser byggets lufttetthet, noe som påvirker energibehovet, brukerens komfort og byggets bestandighet. Økt tetthet reduserer varmetapet og er derfor et naturlig krav i standarden.

Kravet for lekkasjetall er for passivhus gitt som $\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$, og bestemmes ut ifra antall luftvekslinger (n_{50}) ved en trykkforskjell på 50 Pa. Det skal altså ved 50 Pa ikke være mer enn 0,6 luftvekslinger på en time. Den mest brukte metoden for å dokumentere lekkasjetallet er trykkmetoden som er en manuell måling som gjennomføres i løpet av/ eller ved ferdigstilling av oppsetningen (kalt tidlig- og slutfase). Når bygget er ferdig vindtettet settes det inn en vifte for eksempel i døren. Viften er sammensatt med en lufttett duk som erstatter døren. Når viften så produserer trykkforskjellen viser måleinstrumentene hvor store lekkasjer det er i konstruksjonen. Denne målemetoden blir også omtalt som "Blower-door" test.[18]



Figur 11 Prinsipp "Blower-door" [NBI 720.035]

Dersom verdien av lekkasjetallet blir for høyt må en lokalisere de verste lekkasjepunktene. Dette kan da gjøres ved bruk av røykampuller, lufthastighetsmåling eller termografering. For dette prosjektet vil ikke selve testingen av lekkasjetallet være interessant. Det vil være mer avgjørende å finne eventuelle lekkasjeutfordringer og bestemme tiltak som fører til at passivhuskravet tilfredsstilles.

Forebygging med tanke på tettheten til bygget må overveies i både prosjekteringsfasen og utførelsesfasen. Ved planleggingen av bygget lønner det seg å velge enkle detaljer som kan forenkle arbeidet med å føre kontinuerlige sperresjikt. Det er viktig at det blir levert en fullstendig teknisk beskrivelse av detaljer og løsninger i arbeidstegningene. I utførelsesfasen er det lønnsomt å følge preaksepterte løsninger og anvisninger fra produsentene av de ulike produktene. Enova har startet kampanjen "Hold tett!" som retter et større fokus på tettheten i bygg. Kampanjen skal gi både de prosjekterende og utførende ekstra kunnskap. Selv om lekkasjetallet ikke blir kontrollert før et stykke ut i arbeidet, kan man benytte sjekklister og fotografere under veis for å få gode kvalitetssikringer på at bygget blir tett. En kan da dokumentere at arbeidet med både dampspærren og vindspærren blir gjort korrekt.[19]

4.2.1 Dampspærre

Siden det ofte kan være mer fuktighet i luften på innsiden av bygget enn på utsiden, er det viktig å ha en dampspærre som skal hindre kondens og fuktproblemer i ytterkonstruksjonen. Dampspærren legges derfor på innsiden av isolasjonen (i den varme delen) for ikke å få redusert isolasjonsevne. Hvilken dampspærre en bør velge er ikke særlig relevant uansett hvilket bygg man skal bygge. Det er derimot viktig at den brukes riktig og ikke har rifter og lignende. For å få en kontinuerlig dampetting

av hele bygningen skal overgangene mellom gulv, vegg og tak klemmes for å få et indre skall. Mest brukt til dampsperre er ruller av polyetylenplast eller plastfolie. Disse er lette å bruke, kan lett klemmes og er billige. Miljømessig er dette materialet godt da det ikke gir noen avgassing og gir et godt innelima. De ulike dampsperrere er alle veldig tynne, og har en veldig liten betydning for varmekapasitet og energisparing. På grunn av elektriske føringer kan det ofte oppstå brudd i dampsperreren. Det er derfor ønskelig, så langt det er mulig, å legge en utlekting på innsiden av dampsperreren. Økonomisk vil en riktig utført dampetting være billig, mens en eneste liten rift kan føre til fuktskader på isolasjon og gjøre at isolasjonsmaterialet må byttes ut.

4.2.2 Vindsperre

Vindsperren i konstruksjonen er minst like viktig for lekkasjetallet. Hensikten med en vindsperre er å hindre trekk på isolasjonen langs luftespaltene og å tette konstruksjonen mot uønskede luftlekkasjer. Siden det er den stillestående luften som gir varmelagring og isolasjon, er det viktig med en god og tett vindsperre. En vindsperre skal være bestandig mot hardt vær og fukt og forhindre sopp- og råteskader. Det viktigste ved valg av vindsperrer i et passivhus er at produktet skal være godt isolerende, gi god tetthet og kunne klemmes mekanisk for å unngå lekkasjer. For både dampsperrer og vindsperrer vil de produktene som har fått Sintef Teknisk godkjenning oppgi lufttettheten i godkjenningsdokumentet.

Vindsperrer finnes i ulike fasonger. Vi kan i hovedsak dele inn i vindsperrer i plateform og på rull. Blant disse har vi for eksempel asfaltimpregnerte vindsperreplater og rullprodukter av papp. Disse har ulike egenskaper og fordeler. Rulltettingsproduktene kan være 5-10 ganger så lufttette som plateproduktene og de fungerer fint på store veggflater og rundt hjørner. Vindsperreplater gir på sin side god tetting mot gjennomføringer og rundt vinduer og dører, har en liten, men ønsket isolerende effekt (0,05 W/mK i forhold til rull 0,01 W/mK) og er med på å avstive konstruksjonen. Det viser seg derfor at det kan lønne seg å ha dobbelt vindtetting med rullproduktet utenpå platene. Den eneste ulempen med bruk av dobbel vindsperre er eventuell fukt og muggdannelse mellom de to sperrere som følge av regn i oppsettingsfasen. Vindsperrene skal ha en uttørkingstid etter at de er satt opp, men det er spørsmål om det ved to sjikt hindrer uttørkingen av platen. I følge tester utført av Sintef viste det seg at dette ikke er noe problem for plater av treprodukter og utvendig dampåpen vindsperre.[20]

I områder som er utsatt for mye regn og vind, som enkelte steder på vestlandet, har det vært vanlig å benytte dobbel vindsperre i lengre tid. Med tanke på trykkforskjellen inne og ute vil bruken av dobbel vindsperre føre til redusert lekkasje. Med stadig nye produkter som gir ekstra tetting ved gjennomføringer og mot vinduer/dører blir det mulig å oppnå et tilfredsstillende lekkasjetall.[21]

4.2.3 Tetting rundt vinduer og dører

Det å få en kontinuerlig tetting rundt åpninger i konstruksjonen kan være en utfordring. Når det gjelder innsetninger av vinduer og dører er det gjort en del forskning for å oppnå best mulig tetting. Ut ifra testing hos Sintef er det også i innsetninger anbefalt en dobbel tetting. Her er det anbefalt å bruke bunnfyllingslist og fugemasse i en 10-12mm spalte som første vindtetting og klemte rullprodukter som andre. Mellom sjiktene bør det benyttes mineralulldytt. Ekspanderende fugeskum som polyuretanskum bør ikke brukes.

I et passivhusprosjekt i Bærum ble det benyttet vinduer med integrert vindsperre i vinduskarmen. Den ferdigmonterte remsen med vindsperrerull klemmes under rullen fra veggkonstruksjonen slik at

en vil få en kontinuerlig tetting. Dette kan også gjøres ved å lime på sperreprodukter som er designet for dette formålet til karmen (gjelder også for dampsperreformål). For portinnsettingen vil tettheten bestemmes ut ifra produktet som velges, noe vi kommer tilbake til i vurderingen av port.

I planleggingsfasen bør en redusere antallet gjennomføringer gjennom klimaskjermen. I likhet med vinduer og dører er dette punkter med potensielle store lekkasjetap. Her bør det benyttes spesialmansjetter eller fugemasse for å få en fullstendig tetting. Rockwool har en egen serie med produkter som er spesialisert for å oppnå best mulig tetting. Dette kalles RockTett klimasystem, og har vindsperrer, dampsperrer, ekspanderende fugebånd og tettelister for vindu/dører, butyl tettebånd for gjennomføringer og fugeskum. Dette tilbudet har også andre aktører, som for eksempel Isola, som har et stort sortiment med rørmansjetter med ferdigmontert klebende vind- eller dampsperre.

4.3 Vinduer, dører og porter

De bygningsdelene som viser seg å ha størst potensial til å redusere energibehovet er vinduer og dører. De viktigste faktorene her er bygningsdelens U-verdi, kuldebroverdi og tetthet. Vi vil i dette avsnittet ta for oss vinduer, dører og porter, og vurderer disse opp imot de kvalitetene som er nødvendig for å oppnå passivhusnivå.

4.3.1 Vindu

Selv om det i denne oppgaven ikke er ønsket å se spesielt på detaljering av vinduer, er bygningsdelen en relativ stor utfordring for å kunne oppnå passivhuskravet. Vi gjør derfor en liten vurdering med tanke på ulike vindustyper og forskjellige plasseringer i vegg. Kravet i standarden sier at gjennomsnittlig U-verdi på vinduer i en konstruksjon skal ligge på $\leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Med i dette kravet kommer også glassfasader, som er en del av konstruksjonens vindusfelt. Verdiene måles ut ifra standardstørrelsen 1 230 x 1 480 mm, men U-verdien vil variere ut ifra størrelse, utforming og arealandel karm.

Ut ifra den foreløpige planen for nybygget på Bodø vgs. kommer det frem at det er ønskelig med store arealer med vindusflate. Dette kommer blant annet av at det er egne krav for dagslys, og at det er ønske om godt opplyste klasserom. Som et eksempel på store vindusflater har arkitekten planlagt å ha kantineområdet over to etasjer som et stort amfi. Dette fører til at en fra innsiden vil få en fin utsikt mot skolens uteområde og byhorisonten.



Figur 12 Glassfasade inngangsparti

Som vi så i vurderingen av den første energisimuleringen av nybygget har vindusflatene en U-verdi på $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dette er i og for seg en god verdi, men når samlet glass-, vindus- og dørareal delt på bruksareal er hele 15,2 % vil det bli problematisk å tilfredsstille kravene. På bakgrunn av dette har vi gjort noen vurderinger på forskjellige leverandører og produsenter.

Vurdering av standardstørrelse vindu

Siden den første passivhusstandarden kom ut i 2010 har det skjedd mye på markedet for vinduer. Vi kan for eksempel nevne Lian Trevarefabrikk AS, Lyssand Treindustri AS og NorDan AS som er godt kjente norske vindusprodusenter som alle har kommet med en egen "Passiv" variant som har en U-verdi på om lag $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Det går igjen for alle disse alternativene at det er tre-lags glass med ett eller to energibelegg, ofte kalt energiglass eller isolerrute. Mellom glassene er det fylt Argongass. På vinduer det er mulig å åpne er det en ekstra slepelist mellom karm og ramme som skal redusere inntregning og sirkulasjon av kald luft. Felles for alle energivinduer er at ingen leveres med ventil i karmen. Dette for å få en tilstrekkelig tetthet i passivhuset.[22]

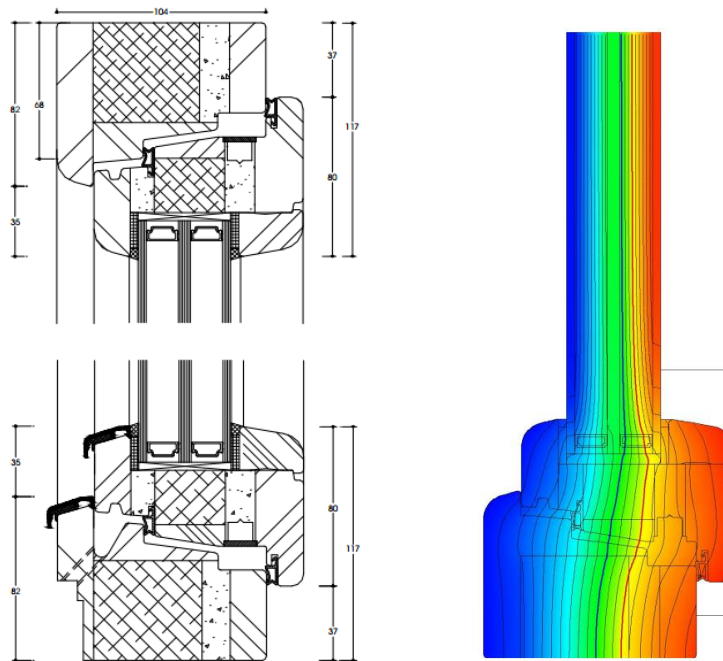


Figur 13 1042+ [energategate.no]

Det har også kommet nye varianter fra Tyskland og resten av verden. Når vi ser på standard størrelse vindu velger vi å ta med det tyske selskapet Energategate som har kommet med tre passivhusprogram; 1202+ (som er tre og aluminium), 1042+ (tre og 763+ (vinyl). Vi ser nærmere på Energategate 1042+ som nå nylig også ble teknisk godkjent av Sintef Byggforsk. Energategate kommer i to typer, hvor den ene benytter Argon som de øvrige norske vinduene og har målt total U-verdi på $0,77 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Det andre vinduet benytter Krypton istedenfor Argon og får redusert U-verdien til $0,61 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Sintef målte til $0,65$). Nedenfor er det vist en tabell med utregninger av U-verdien.[23][24]

Energategate 1042+ (Spesialutførelse)			
Størrelse:	B x H	1230x1480	mm
Rammens isolasjonsverdi	U_f	0,63	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
3-lags energiglass	U_g	0,5	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
Varmkant	Psi	0,028	W/mK
Total U-verdi:	U_w	0,61	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

Tabell 13 Beregning total U-verdi 1042+ [energategate.no]



Figur 14 Snitt og temperaturendring 1042+ [energiate.no]

4.3.2 Kuldebroverdier for vinduer

Når det gjelder kuldebroverdier for vinduer i yttervegger er det karmens plassering i forhold til veggkonstruksjonen som er avgjørende. Med tanke på varmetapet som oppstår i overgangen mellom vinduet og veggen er det mest gunstig å plassere et vindu omtrent midt i veggen. Byggforsksbladene benytter her målene i avstand mm fra utvendig vindusperre til ytterkant vinduskarm. I eksemplet i Byggforsk med en standard 250 mm stenderverksvegg, ser en hvilken plassering vinduet bør ha for å få lavest mulig kuldebroverdi. Under har vi vist noen eksempler på vindusplassering i en dobbel stenderverksvegg som tenkt for denne oppgaven.

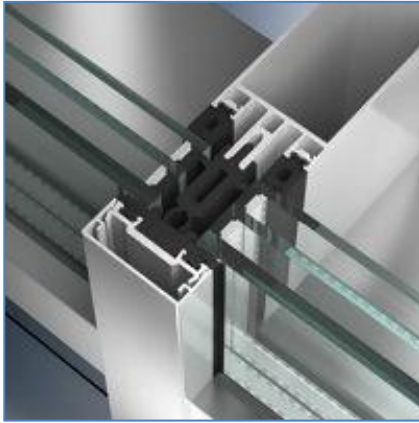
Plassert ytterst:	Plassert omtrent i midten:	Plassert innerst:
Kuldebroverdi, $\Psi_v = 0,008$ $W/(m^2K)$	$\Psi_v = 0,007 W/(m^2K)$	$\Psi_v = 0,053 W/(m^2K)$

Tabell 14 Kuldebroverdi vindusinnsetting [NBI 471.017]

For videre i oppgaven skal vinduet plasseres omtrent i midten av veggen og det benyttes en kuldebroverdi for vindusinnsettinger på $0,007 W/(m^2K)$. [25][26][27]

4.3.3 Vurdering av glassfasader og glassystemer

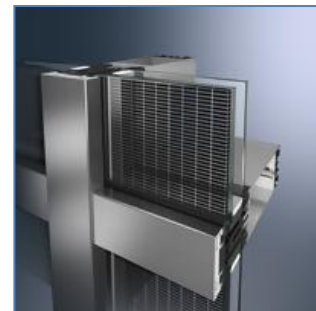
Fasadesystemer i glass er enda ikke spesielt utbredt på det norske passivhusmarkedet, og er lite brukt på eksisterende energieffektive hus. Det finnes likevel et par selskaper som til nå har vært benyttet, nemlig Schüco og Sapa. (Blant annet benyttet i Marienlyst Skole.) Vi ser på et eksempel av hver av disse for å se på mulighetene ved bruk i passivhus.



Figur 15 Schüco FW 50+SI [schueco.com]

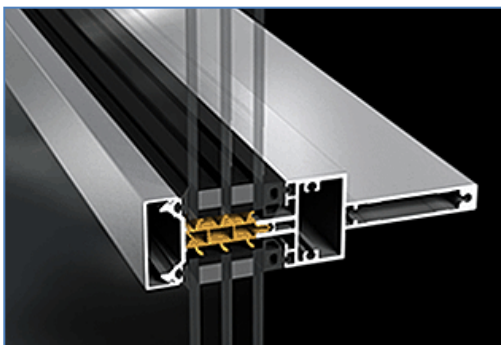
Schüco passivhusfasade har de to fasadeveggene FW 50+.SI og FW 60+.SI. Disse glassfasadene er sertifisert i Tyskland, og tilfredsstillende også det norske kravet på $\leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Med superisolering i karmtilslutningene, 3-lags energiglass og dekkplater kan U-verdien komme ned i $0,78 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Som et regneeksempel i den tyske sertifiseringen benytter vi en fasade med grid $1.2 \times 2.5 \text{ m}$ og glass med U-verdi $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Den totale U-verdien for fasaden blir da om lag $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. (Man kan velge mellom en trykkplate av aluminium eller GRP (glassfiberplast)). Den oppgitte kuldebroverdien, Ψ_g , for karmene i disse fasadene ligger mellom $0,034$ og $0,036 \text{ W}/\text{mK}$, avhengig av om man velger 50 eller 60mm karmbredde.[28]

I tillegg til selve glassfasaden tilbyr også Schüco å integrere tynnfilm solceller i glassene (semitransparent). Dette kaller de "Schüco ProSol TF-" og vil i tillegg til å redusere varmetapet også produsere strøm. Et lurt og energieffektivt tiltak for steder med mye årlig sol. Cellesystemet fungerer også som solskjerming.



Figur 16 Schüco fasade med innebygd ProSol TF- [schueco.com]

Også Sapa har et eget høytisolierende fasadesystem, nemlig Sapa Fasade 4150 SX. I likhet med Schüco's fasade har dette systemet karmene av 50mm isolerte aluminiumsprofiler og pakninger som gir ekstra isolasjon. Dette fasadesystemet tilbyr innsetting av både vinduer og dører og vil av den grunn være ideelt til inngangspartiet og fasaden ved kantinen på Bodø vgs.



Figur 17 Sapa fasade 4150SX [sapagroup.com]

I vedlegg D har Sapa Buildingsystem i Norge gjort en beregning av fasaden som vender mot nord (inngangen og kantinen). Vi anslo arealet på fasaden til å være 375 m^2 ($37,5 \text{ m}$ lang og 10 m bred) og etterspurte bruk av Sapa Fasade 4150 SX med dører. Sapa foreslo å benytte

karmprofiler på 50 mm , og regnet ut en glassandel av fasaden på $95,2 \%$. På grunn av den store glassandelen er det glasstypen som er avgjørende for å få lav U-verdi på fasaden. Pilkington, leverandør av glass, oppgir å levere 3-lags isolerrutesystemer (Optitherm S3) med U-verdier fra $0,5$ til $0,7 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. U-verdien varierer likt med tykkelsen mellom glassene. Dette er også vist i vedlegg D. I beregningen gjort for oss har Sapa benyttet en U-verdi til glasset på $0,6 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Etter utregningene som ble utført endte vi opp med en total U-verdi på $0,71 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ for glassfasaden. Kuldebroverdien

for karmene er $0,032 \text{ W/mK}$ og vil kunne benyttes i innsettingen så lenge det blir utført god tetting.[29]

4.3.4 Dører

I likhet med vinduer må også dørene tilfredsstille krav for å oppnå passivhusstandard. Også her er kravet $0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. For Bodø vgs. er det planlagt bruk av vanlige inngangsdører i tillegg til dører i fasadeløsninger. I de første fasadetegningene er det totalt 8 dører, hvorav den ene er hovedinngangen. Vi går ut ifra en gjennomsnittlig størrelse på dørene på $1,0 \times 2,1 \text{ m}$.

For standard enkle dører ligger U-verdien mellom $1,0 - 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, varierende ut ifra om det har glass, størrelse og utforming. I simienfilen var det oppgitt dører med U-verdi på $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. NorDan AS har i tillegg til passivhusvindu nå også kommet med en serie dører kalt NTech Passiv 801, som kan få en U-verdi ned på $0,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Disse dørene har ekstra isolasjon i dørbladet, eventuelt 3-lags energiglass m/Argon gass og "Superspacer" varmkant. De utvalgte dørene i NTech serien leveres også med glass, og får da en beregnet U-verdi på ca. $0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. U-verdiene er gitt fra produsent og inkluderer ramme og karm i tillegg til selve dørbladet. Uansett om en har glass eller ikke vil kravene i standarden være tilfredsstillende. For å vise mulighetene for valg av dør som tilfredsstiller standarden har vi nedenfor vist NTech serien fra NorDan.[30]



Figur 18 NorDan NTech passivserie [nordan.no]

Både Schüco og Sapa har alternativ for dører inkludert i fasadesystemer. Glassfasadene som har en gjennomsnittlig U-verdi på $0,75 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, kan enkelt sette inn både vinduer og dører, men dette gir økt U-verdi. Fasadeeksempelet som var vist under glassfasadesystemer hadde inkludert dør. Sapa beregnet da at den totale U-verdien var $0,71 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, men opplyste om at verdien ofte ble rundt $0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ når profilandelen blir større. Det å sette inn en dør i fasaden fører til høyere profilandel. Går man for eksempel opp 10 % på profilandelen kan U-verdien øke med ca. $0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Dette stemmer godt overens med resultatet for vår glassfasade, der U-verdien på glass var $0,5-0,6$, og med profiler og dør ble $0,71$. Vi kan konkludere med at det ikke vil være lønnsomt med utstrakt bruk av dører i glassfasadene.[31]

Schüco reklamerer også for dører i fasaden med Schüco ADS dør 90, SI. De opplyser om dører i



Figur 19 Dørrinnsetting fasadesystem [sapagroup.com]

systemet som fører til verdier på $<1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. På forrige side er det vist en figur av overgangen glassfasade/dør, hvor vi ser at det er ekstra isolasjon i både karm og dørblad. Døren bør også ha 3-lags glass for å beholde varmeegenskapene.

Ved bruk av dører anbefaler vi å redusere antallet dører som inkluderes i glassfasader. Det er selvsagt behov for flere dører med hensyn til brannutganger og de ulike bruksrommene for skolen, så et antall på 6-7 dører er nødvendig. Da dørene i glassfasadene allerede er beregnet tar vi ikke med disse for kuldebroberegningene av dører. Vi sitter derfor igjen med NTech dørene som har en gjennomsnittlig U-verdi på $0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$. Kuldebroverdien for innsettingene av dører bestemmes på samme måte som for vindu, altså ut fra hvor den er plassert i veggen (i forhold til vindsperran). Det lønner seg å ha døren enten i midten eller mot utsiden, hvor kuldebroverdien bli om lag $0,01 \text{ W/mK}$.

Dette reduserer selvsagt de arkitektoniske frihetene, men for å oppnå kravene i henhold til passivhusstandarden vil det ikke være gunstig med utstrakt bruk av dører med høy U-verdi.

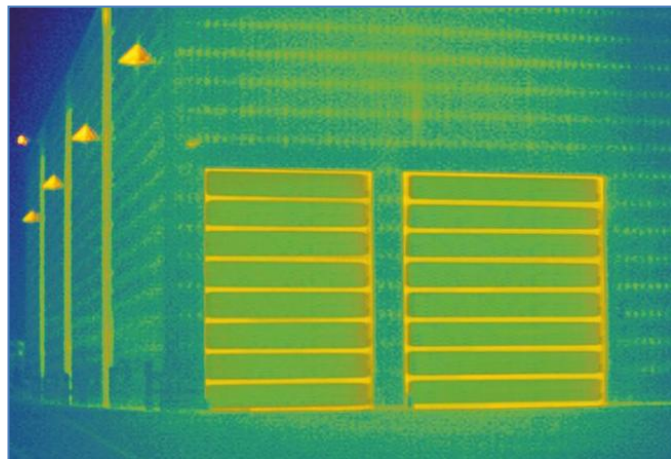
4.3.5 Porter

Verkstedhallen som er inkludert i bygget er en av de store utfordringene ved å bygge etter passivhusstandarden. Dette fordi verkstedet skal ha flere porter. I en energisimulering for et bygg vil portene komme inn under bygningsdelen dører, og har et minstekrav på $0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

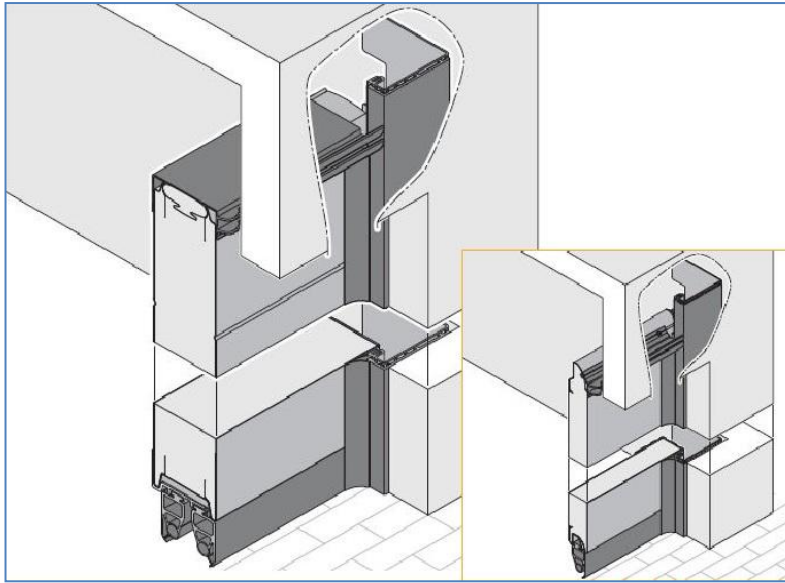
Det er flere faktorer som spiller inn i valg av porter til et byggeprosjekt. For det første er åpningsstørrelsene avgjørende. I et verkstedlokale, som tenkt i Bodø vgs., bør portene tilfredsstillende størrelsene til

landbruksmaskiner og store vogntog. Dette fører til en minimum bredde x høyde på $4 \times 4,5 \text{ m}$. Ut ifra arealene som er oppgitt i simienfilen antar vi at antallet porter er redusert til 4 fra tidligere 5 i plantegningene. For å redusere det potensielle varmetapet, men for å ha muligheter for å få inn alle typer kjøretøyer har vi valgt portstørrelsen $4 \times 4,5 \text{ m}$ (b x h).

Porttype er også en variabel, men det blir stort sett brukt leddheisporter i Norge, i tillegg til at en leddheis vil passe best for skolens formål med tanke på plassutnyttelse og hvor mye porten behøver å åpnes for forskjellige kjøretøyer. For bruk i et tenkt passivhus er varmelagringseffekten den største faktoren i valg av port. For isolerte porter ligger U-verdien mellom $0,4 - 1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, mens uisolerte porter ligger på $3,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ eller høyere. Når vi ser verdier helt ned i $0,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ gjelder dette spesielle portsystemer for kjølelager/fryselager, eller som for eksempel systemer med lasteramper. Som et eksempel kan vi vise til en klassisk leddheisport fra Crawford, g60 Classic, som har en U-verdi på $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Dette er i seg selv en bra verdi for en port, men for bruk i et passivhus er det ønskelig med lavere verdier.[32]



Figur 20 Thermofoto lager med port [hoermann.no]



Figur 21 Porter med ThermoFrame [Hörmann]

Hörmann-gruppen er en av Europas største leverandører på porter, dører og karmen, og har gjennom de siste årenes vekst innenfor energisparing kommet med alternativer til bruk i passivhus. Vi har vært i kontakt med Hörmann Norge AS på grunn av en nyhet innenfor varmelagring i leddporter. Denne nye oppfinnelsen kalles ThermoFrame, og er en karmtilslutning med brutt kuldebro. ThermoFrame gir ekstra pakninger av PVC både i sidekarmene og i overfeltene (allerede svært gode pakninger i

underfeltene), som i tillegg til å gi bedre tetthet for bygningsdelen også reduserer faren for korrosjon. Disse nye karmtilslutningene leveres som ekstrautstyr for alle industrileddportene, og vil bidra til å redusere U-verdien for porten med ca. 20 %. Skal man ha porter i et passivhus vil derfor ThermoFrame være aktuell for å kunne oppnå kravene.

Valg av port

Vi vil sammenligne to porttyper fra Hörmann; den isolerte stålporten SPU 40, og den dobbelt varmeisolerende energispareporten DPU. Begge to er bygd opp med samme prinsippet med polyuretanskum i hullrommet som fungerer som kuldebryter i seksjonene. Ut over dette er det meste ulikt.

SPU 40 er en godt utprøvd standardport fra Hörmann, med robust portbladkonstruksjon og god varmelagringsevne. Seksjonene i SPU 40 har en tykkelse på 42 mm. For hver seksjon regnes det med en U-verdi på $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, og med en åpningsstørrelse på $4 \times 4,5 \text{ m}$ får vi en total U-verdi (inkludert karm/ramme) på $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. I denne vurderingen regner vi verken med gangdør eller vinduer i portkonstruksjonen, for å få best mulig resultat. Ved også å benytte ThermoFrame vil vi ved bruk av SPU 40 få en U-verdi på om lag $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, noe som imponerende nok ligger på kravet.

I motsetning til SPU 40 er DPU-porten et resultat av motsatt behov for temperaturtap. Normalt sett benyttes denne porten i fryse- og kjølelagre der den gode isolerende egenskapen skal beholde



Figur 22 Detaljsnitt DPU-port [Hörmann]

kulden inne i lageret. Seksjonene i denne porten har tykkelsen 80 mm og vil på grunn av dobbel tykkelse i forhold til SPU få dobbel bunnpakning. Bunnpakningene og oppbyggingen av DPU porten er vist i figuren på forrige side. Hver seksjon vil i dette tilfellet ha en U-verdi på 0,30 W/(m²K), mens total verdi for port med ThermoFrame kommer på så lite som 0,48 W/(m²K).

Når det gjelder tettheten i og rundt portsystemet oppgis luftgjennomstrømning i form av klasse gitt i NS-EN 12426:2000 Porter - Luftstrømtetthet – Klassifisering. Klassifiseringen går fra 0 til 6, hvor 0 er ingen grenseverdi og 6 så godt at den brukes kun unntaksvis ved avtale mellom byggherre og leverandør. Ved å ha en trykkforskjell på 50 Pa kan man måle luftgjennomstrømningen rundt porten og resultatet finnes i tabellen nedenfor.

Klasse	Luftpermeabilitet, 50 Pa (m ³ /m ² h)
0	-
1	24
2	12
3	6
4	3
5	1,5
6	Kun brukt ved spesiell avtale

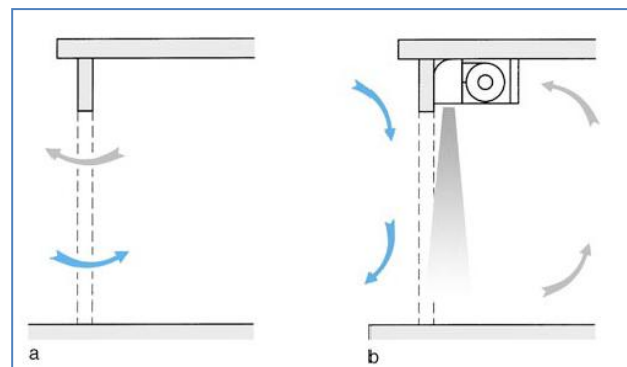
Tabell 15 Klassifisering luftgjennomstrømning
[NBI 533.301]

SPU 40 porten har en luftgjennomstrømning målt til klasse 2, mens DPU reduserer luftpermeabiliteten og kommer i klasse 3. Tabellen viser at DPU porten har halvparten av luftgjennomstrømningen til SPU-40. Det viktigste med tanke på luftpermeabiliteten er at de kontinuerlige lekkasjene gjennom bygningsdelene skal være redusert til mindre enn kravet på 0,6 luftvekslinger pr time. For å få en tettest mulig port er det en forutsetning at det er trykkforskjeller fra inne og ute.

For å finne ut hvor mye lufttettheten i og gjennom porten påvirker resultatet av lekkasjetallet beregner vi lekkasjen for alle portene. Vi gjør en kort utregning for DPU-porten. Med en luftpermeabilitet på 6 m³/m²h gir dette en lekkasje på 432 m³/h for portenes totale areal (72 m²). Byggets totale volum er 57 500 m³, noe som fører til at portene vil tilføre et lekkasjetall på 0,008 m³/m³h (432/57 500). For å komme innenfor kravet på ≤ 0,6 h⁻¹ må resten av bygget ha et lekkasjetall ≤ 0,592 h⁻¹. For å sammenligne med et tidligere prosjekt ser vi på Miljøbygget i Trondheim. Dette energieffektive bygget har en målt luftlekkasje på 0,4 h⁻¹. [33]

Når det gjelder luftgjennomstrømningen ved åpen port kalles dette varmetapet åpningstap. I følge Tor Helge Dokka (pr. mail) vil ikke effekten av åpningstapet være stort dersom porten kun åpnes et begrenset antall ganger hver dag. Siden verkstedene benyttes i forbindelse med undervisning og at vi har begrensede driftstider antar vi at bruken av portene er minimal. Selv om åpningstapet ikke påvirker lekkasjetallet for bygget kan det være interessant å vurdere tiltak som kan redusere varmetapet ved åpne porter.

Ved å benytte mekaniske heisemekanismer vil man kunne føre porten opp og igjen ganske fort og derfor redusere åpningstapet. En vil også med mekanisk heising få lengre levetid for beslagene og mindre farer for korrosjon. I og med at det vil være begrenset bruk av hver enkelt port vil det ikke være nødvendig med ekstra hurtigport, men det kan installeres andre produkter for å redusere tapet ved innkjøring. Et eksempel på dette er luftporter som lager en usynlig port av



Figur 23 Prinsipp luftport [NBI 533.301]

luftstrøm slik at varmen ikke skal gå ut. Denne kan installeres over eller ved siden av portåpningen. Det finnes også lameller og stripsgardiner som fungerer som en tett gardin og installeres på innsiden av porten. Lamellen som er vist på bildet ved siden av er også et Hörmann produkt og kalles en Iso-duk. Denne ekstra porten har en god isolasjonsevne og kan bidra til ekstra tetting i tillegg til leddporten (U-verdi på $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).

De foreløpige planene av Bodø vgs. viser at det er planlagt 5 porter. I Simienfilen er det derimot kun lagt inn 4 så vi jobber ut ifra dette antallet. I slutten av november kom også de nyeste plan- og fasadetegningene, hvor antallet porter var økt til hele 9 stykker.

For portene vil det ikke være noe problem med tanke på U-verdi, siden vi med ThermoFrame kan ligge rundt kravet for dører. Noe av det som trolig vil resultere i et av de største problemene for verkstedet er portenes kuldebro. I og med at portene må settes inn mot innsiden av klimaskjermen, og at det kun er tynne stålprofiler som holder portseksjonene vil vi muligens få et stort temperatursig rundt åpningene. Portdetaljene var noe vi ønsket å se nærmere på, og vil få en detaljert utredning senere i kapittelet.



Figur 24 Iso-duk
[Hörmann]

Porttype:	Tykkelse	Luftgjennomstrømning	U-verdi uten ThermoFrame	U-verdi med ThermoFrame
SPU 40	42 mm	Klasse 2	$1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	Ca. $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
DPU	80 mm	Klasse 3	$0,69 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	$0,48 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Tabell 16 Sammenligning SPU40 og DPU

For bygningsdelene vinduer, dører og porter kan det altså være mulig å tilfredsstille minstekravet for U-verdi på $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Etter å ha vurdert de første bygningsdelene er det nå klart for å ta for seg ytterkonstruksjonene.[34][35]

4.4 Materialliste

Før vi begynner på oppbyggingen av ytterkonstruksjonene i bygget lager vi en oversikt over de ulike produktene og bæresystemene som kan velges. I tillegg til de godt kjente produktene blir det hele tiden forsket på nye spesialprodukter som enten skal redusere varmeledningsevnen eller luke ut kuldebroer. Både produksjonen og bruken av produkter skal være energieffektivt, noe som vil føre til økte kostnader. For både veggene, gulvet og taket er det viktig å vurdere materialene, så vi vil i dette kapittelet få en kort oversikt over de valgene som blir gjort. Vi har allerede sett på de to sperresjiktene som skal være i klimaskjermen. Vi vil her se på isolasjonsmaterialer og bindingsverk.

4.4.1 Isolasjon

Da kravene til passivhus er så strenge har vi kun valgt å vurdere de isolasjonsmaterialene som er mest energibesparende. De to ledene isolasjonsleverandørene i Norge er Glava og Rockwool. Det er disse som viser seg å ha de produktene med lavest varmekonduktivitet. Hunton (økologisk isolasjon), Norsk Celluloseisolasjon (isofiber/løstull) og Knauf Insulation er andre leverandører i Norge. Med en varmekonduktivitet på henholdsvis $0,038 \text{ W}/\text{mK}$, $0,038 \text{ W}/\text{mK}$ og $0,037 \text{ W}/\text{mK}$ kommer vi ikke til å vurdere disse produktene videre. Selv om disse vil vise seg å være konkurransedyktige på pris vil man måtte inn med mer isolasjon for å oppnå en tilsvarende U-verdi, noe som vil føre til en tykkere konstruksjon.

Glava

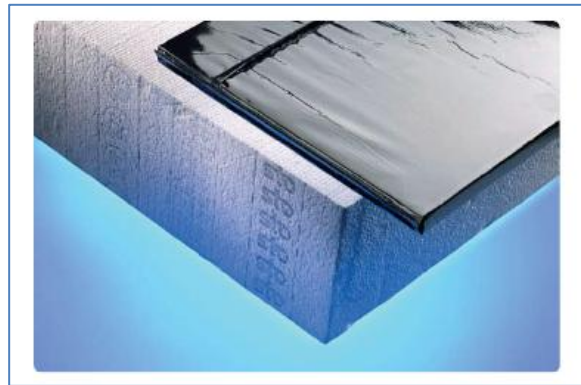
Glava produserer i hovedsak isolasjonsmaterialer av glassull i tillegg til noe skumplast (EPS og XPS) og steinull. Det beste produktet Glava har å tilby er Glava Extrem33. Med en varmekonduktivitet på $0,033 \text{ W/mK}$ er dette produktet helt i toppsjiktet i dagens marked. Produktet ble utviklet nettopp med tanke på at kravene ble strengere og vil gi en slankere konstruksjon med samme U-verdi. Platene leveres i ulike bredder til stenderverk og tilpasset til I-bjelker og stålstendere. Materialet er ubrennbart med en brannklasse A1.[36]

Rockwool

Rockwool er en av verdens ledende leverandører av steinullprodukter. Etter at Glava kom med sin Extrem33 fulgte Rockwool opp med et tilsvarende produkt, FlexExtrem33. Flexextrem33 er laget av vann- og fuktavvisende Rockwool steinull og er en isolasjonsplate med spesielt god utfyllingsevne. Den fleksible langsiden tetter variasjonene i lysåpningene. Med en varmekonduktivitet på $0,033 \text{ W/mK}$ er dette produktet et absolutt like godt valg som Glava Extrem33.[37]

Vakuumisolasjonspaneler (VIP)

ROBUST er et forskningsprosjekt som blant annet forsker på vakuumisolasjonspaneler. Kravene til U-verdi i bygninger vil bare bli strengere framover. Med dagens veggtykkelser som allerede ligger rundt 400 mm, må man tenke nytt. Det vil bli et økende behov for isolasjonsmaterialer med ekstremt god varmekonduktivitet for å unngå de tykkeste veggene og takene.



Figur 25 Vakuumisolasjon og tradisjonell isolasjon med samme U-verdi

VIP har en porøs og poreåpen kjerne som er forseglet med plastfolie slik at man får vakuum i porene. Dette vil gi et materiale som reduserer varmeledningsevnen mellom $1/5$ til $1/10$ sammenlignet med dagens materialer. Ualdret VIP har en varmekonduktivitet på $0,004 \text{ W/mK}$, noe som er over 8 ganger så bra som det beste Glava og Rockwool har å tilby. Det man må ta høyde for er at isolasjonsevnen vil reduseres over tid. Man regner med at i løpet av 25 år vil den halveres ($0,008 \text{ W/mK}$). Det som også er en utfordring med VIP er at det må beskyttes mot punktering, noe som kan være vanskelig både under frakt og under oppføring. Men selv om man får en punktering vil man likevel sitte igjen med et materiale med varmekonduktivitet lik $0,020 \text{ W/mK}$.

Siden VIP er forholdsvis nytt i Norge er det en del utfordringer som må løses før det blir vanlig å benytte. Panelene er ikke så fleksible for tilpassing til andre konstruksjonsdeler og de må beskyttes for punktering. Kostnadene ved bruk av VIP vil prismessig ikke kunne konkurrere med dagens isolasjonssystemer. Men dersom man kan redusere veggtykkelsen med eksempelvis 30 cm kan dette likevel gi fortjeneste, avhengig av størrelsen på bygget.

Det er ingen produkter med teknisk godkjenning per i dag, men vi ser at dette er et isolasjonsmateriale man kan få stor nytte av i framtiden.[38][39]

Navn	Varmekonduktivitet	Pris	Kommentar
Glava Extreme	0,033 W/mK	38,27 kr/m ² u/mva	Maxbo - tilbud
Rockwool flexekstrem	0,033 W/mK		Pris ikke funnet
VIP med vakuum	0,004 W/mK		Ekstremt kostbart. Ingen produkter godkjent pr. i dag.
VIP uten vakuum	0,020 W/mK		

Figur 26 Sammenligning Glava, Rockwool og VIP

Isolasjon i og rundt gulv

I isolasjon som skal benyttes i gulvet og rundt ringmur må det tas hensyn til trykkfasthet og bestandighet mot vann. For isolering av grunnmursdetaljen er det EPS og XPS som benyttes avhengig av formål, plassering og ønsket bæreevne. Disse to isolasjonstypene er laget av poresystemer av polystyren og har kuler som er smeltet sammen.

EPS står for ekspandert polystyren og isolasjonsevnen kommer av den stillestående luften i poresystemet. Siden trykkfastheten i materialet er viktig for bruk i hard belastede konstruksjoner har de vanlige EPS platene en trykkfasthet mellom 60 og 150 kPa. En EPS plate med trykkfasthet på 80 kPa vil ha en varmekonduktivitet på 0,037 W/mK. Trykkfastheten i produktet er tilstrekkelig for isolering av gulv på grunn i hoveddelen.

XPS er ekstrudert polystyren. Disse platene har en større trykkfasthet/styrke og absorberer bedre fukt og væske. Trykkfasthetene i materialet går fra 200 til 700 kPa og har en varmekonduktivitet mellom 0,033 og 0,039 W/mK. Platene benyttes ved store trykkbelastninger og er perfekt til mark- og frostisolasjon og beholder varmeegenskapene selv i fuktige omgivelser. Siden vi har et industrigulv som fører til store belastninger på gulvet vil bruk av XPS være aktuelt her. Vi benytter XPS plater til markplater og rundt fundament og under verkstedsdelen. Varmekonduktivitet videre i vurderingene settes lik 0,037 W/mK. EPS og XPS er av brennbart materiale (plast) og skal kun benyttes i branntekniske konstruksjoner. Dette fører til at randisoleringen i gulvet må være av trykkfast isolasjon som steinull eller lignende.[40]

Isolasjon i tak

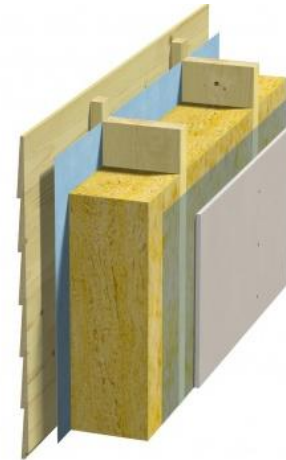
I taket i prosjektet velger vi å benytte et produkt av fukt og vannavvisende steinull. Steinull er ubrennbart i tillegg til at materialet har en varmekonduktivitet mellom 0,036 og 0,038 W/mK. Trykkfastheten er viktig også for takoppbyggingen, og steinullprodukter har en verdi på 30-80 kN/m². (80 kN/m² tilsvarer 80 kPa.) Taket i oppgaven bygges opp av steinullplater med en varmekonduktivitet på 0,037 W/mK.[41]

4.4.2 Stenderverk

Ved valg av bindingsverk som skal benyttes i ytterveggene er det viktig å tenke på kuldebrovirkningen disse har. Vi har valgt ut de fem mest brukte stendertypene. I vedlegg E er det vist detaljtegninger av vegger med ulike stenderverk, her er det også en vegg som viser hvordan man kan inkludere bæresystemet i veggens dersom dette hadde vært aktuelt.

Gjennomgående stendere

Trestendere har alltid vært mye brukt i byggenæringen i Norge. Stenderne har god bæreevne og fører laster vertikalt ned til grunnmur. De gir god plass til isolasjon og er lett å bearbeide. Med stadig strengere krav vil ikke den tradisjonelle byggemetoden lengre være nok. En utfordring er kuldebroer. Siden trevirket i seg selv har en relativt stor varmeledningsevne på 0,12 W/mK, og er gjennomgående gjennom hele vegg, oppstår det ofte temperatursig. Dette kan forbedres ved å legge ekstra isolasjon og utlekting på begge sider, samt å benytte slankere stendere dersom dette er mulig med tanke på bæring.



Figur 27 Vegg med gjennomgående stendere [glava.no]

I-bjelker

Det vist seg å være et positivt alternativ på flere områder å benytte I-bjelker som stenderverk. Et eksempel på produktet er I-bjelken. I-bjelken™ fra Hunton leveres i ulike typer ettersom hvor i konstruksjonen bjelken skal være. For tak- og gulvbjelker har man SJ-serien og til vegger finnes SW-serien. Selv om denne typen bjelke er spesialtilpasset for å redusere kuldebroer, har den likevel høy stivhet og stor belastningsevne. Stenderene leveres i vanlige dimensjoner fra 45 mm og opp til 90 mm, og kan ha en dybde på opp til 400 mm. I-bjelken er bygd opp av to flenser på hver side av en 6 mm tykk trefiberplate (steg). Flensene er av teknisk tørket og presset bartre fra Skandinavia. Varmeledningsevnen for en stender på 240 mm vil være ca. 0,08 W/mK.

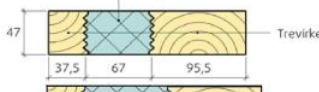





Figur 28 Hunton I-bjelken [hunton.no]

Bjelkene er lette, enkle å håndtere og kan bearbeides med vanlig verktøy. Det kan enkelt lages hull til rørføringer i steget og bjelken skal kunne tåle flere utsparinger enn en vanlig bjelke. Kuldebroer vil ikke være noe problem ved bruk av dette produktet da trevirket brytes av steget. Hunton tilbyr også å isolere med trefiberplater i steget (som vist på bildet ovenfor) som forsterker tverrsnittet. Vi får da et rektangulært tverrsnitt som gir gode løsninger for kuldebroer i hjørner. Som de vanlige trestenderne er også I-bjelken brannsikker.[42]

Iso3-stender

Iso3 stenderen er spesialutviklet for å tilfredsstille de nye kravene i TEK-10. Den er bygd opp av to flenser og et stegmateriale i polyuretanskum. Produktet fungerer som en vanlig stender, men har lengre levetid og

Produkt	Produktoppbygning	Totalmål	U-verdi veggfelt	Kuldebro-verdi
Iso3 200		47x200mm	0,18	0,014
Iso3 220		47x220mm	0,16	0,012
Iso3 250		47x250mm	0,14	0,009
Iso3 300		47x300mm	0,12	0,009

Figur 29 Moelven Iso3 stendere [moelven.com/no]

bedre varmeegenskaper. Samtidig er de både lettere, tørrere og trekker mindre fukt enn vanlige trestendere, noe som gir mindre bevegelse. Råstoffet i Iso3 er av C-30 kvalitet, som er formstabil, rett og gjør det enkelt å bygge nøyaktig.

Moelven leverer stenderne i dimensjonene 200 mm, 220 mm, 250 mm og 300 mm, hvor de største er utviklet spesielt med tanke på passivhusstandarden. Skulle ikke dette holde kan man på samme måte som med vanlige stendere lekte ut for ekstra isolasjon.[43]

Dobbelt bindingsverk

Et annet alternativ for å bygge yttervegg er å bruke dobbelt bindingsverk. Her setter man to stendere der man til vanlig ville satt en, med et mellomrom som gir plass til ekstra isolasjon. På denne måten kan man få et kontinuerlig isolasjonssjikt i midten av vegg og en lavere treandel som vil gi mindre kuldebro og lavere U-verdi. Her vil det være viktig å avstive med innvendig platematerialer og/eller vindsperre, samt ekstra avstivning inni vegg, for å unngå forskyvninger. Bæringen i vegg kan både plasseres på ytre- og indre stenderverk. Her vil man også kunne forankre stenderne på ulike deler av fundamentet, noe som gir mulighet for ekstra isolasjon også her. For dette bindingsverket vil det ikke være spesielt store ekstrakostnader for materialet, samtidig som bygningsmaterialet er godt kjent hos alle håndverkere.



Figur 30 Dobbel bindingsverksvegg [passivhus i Heer, Drøbak]

Stålstendere

Stålstendere i yttervegg gir mye større varmetap enn tre, men med nok isolasjon vil det likevel være mulig å oppnå godkjent U-verdi. Kuldebroverdien vil være et større problem her enn i en vegg med trestendere i og med at varmeledningsevnen for stål er 55 W/mK. Når vi tenker på stålstendere er det ikke bæresystemet som skal vurderes, men galvaniserte tynnprofiler av stål som kan leveres med eller uten slisser. Stålprofilene kan ha en godstykkelse fra 0,56 til 1,5 mm og er u-formet.

Slisser i stålstenderen vil si at en skjærer opp steget og dytter stålet til å få en bølgeform. Avstanden mellom hver slisse kan være 10 mm. Hensikten med disse slissene er å gi varmen en lengre strømningsvei, noe som igjen reduserer kuldebroen i materialet. Ved å ha slisser i stenderen reduseres varmekonduktiviteten rundt slissene til 2,94 W/mK, som igjen reduserer U-verdien på konstruksjonen. Stenderne blir også levert som bunn- og toppsvill, og vil på grunn av det lille tverrsnittsarealet få bedre plass til isolasjon.[7]



Figur 31 Stålstender med slisser [gyproc.no]

U-verdier

For valg av bæresystem vil U-verdi og kuldebro være avgjørende. Videre vil både pris og håndterlighet på byggeplassen spille inn. For å få et overblikk benyttes Glava sine sider over beregnede U-verdier til å sammenligne de ulike bæresystemene. Disse verdiene er beregnet for yttervegger med 15-16 % stenderverk og med 12 mm trefiberplate som vindsperre. Det er ikke gitt beregninger for dobbelt stenderverk med vindsperre i plateform. Vi kan derfor regne med at de

oppgitte verdiene vil være mellom 0,004 og 0,002 W/m²K lavere dersom man benytter platevindspærre. For gjennomgående stender, I-bjelken og ISO3 er dette verdier gitt ut i fra 50 mm innvendig påføring.[44]

Bindingsverk	Total isolasjon 300 mm	Total isolasjon 350 mm	Total isolasjon 400 mm
Gjennomgående stender		0,124 W/m ² K	0,110 W/m ² K
I-bjelker		0,116 W/m ² K	0,102 W/m ² K
ISO3 stender	0,117 W/m ² K	0,104 W/m ² K	
Dobbelt stenderverk*			
148 mm hovedstender	0,129 W/m ² K	0,107 W/m ² K	
198 mm hovedstender		0,112 W/m ² K	0,095 W/m ² K
Stålstender			
Uten slisser	0,218 W/m ² K	0,161 W/m ² K	
Med slisser	0,169 W/m ² K	0,134 W/m ² K	


Tabell 17 Sammenligning bindingsverk U-verdi [glava.no]

*Vindspærre på rull isteden for plate.

Vi ser at det er ISO3 stenderen og dobbelt stenderverk som skiller seg ut ved 350 mm isolasjon. Dette forklares med at begge disse veggene har isolasjon mellom trestenderne. Med verdier på henholdsvis 0,104 og 0,107 W/m²K (ca det samme dersom man bytter til vindspærre i plateform) velger vi å sammenligne disse videre for å finne den beste løsningen. Den største fordelen til ISO3 bjelken er at man bygger på samme måte som tradisjonelt stenderverk. Håndverkere trenger ikke ekstra opplæring for utførelse og det vil ikke være behov for ekstra avstiving av tverrsnittet. Med dobbelt stenderverk har man derimot en stor fordel med å ha et kontinuerlig isolasjonssjikt inni veggen som bryter kuldebroer og gir lavere U-verdi. Her bygger man også på samme måte som med gjennomgående stender, men man må gjøre det i to omganger (ytre og indre stenderverk).

Pris


For å sammenligne disse konstruksjonene økonomisk ser vi kun på det området i veggen hvor stenderne står. Dette fordi oppbyggingen av veggen for øvrig stort sett vil være lik for begge bæresystemene.

Iso3	
	
Pris Iso3 stender 300 mm	162,58 kr/lm u/mva
Pris Lekt 48 x 48 mm	6,79 kr/lm u/mva
Total	169,37 kr/lm u/mva

Tabell 18 Prisvurdering Iso3 pluss utlekting [moelven.com/no og byggmax.no]

For veggen med Iso3 stenderen trenger man prisen for selve stenderen og trelekten som kommer ekstra for 50 mm innvendig utlekting.

Veggen med dobbelt stenderverk har de to frittstående stenderne samt et lag med Glava extreme33. For å finne prisen av isolasjonssjiktet har vi multiplisert prisen pr m² plate med 0,048. Dette vil gi oss 4,8 % av platen, som tilsvarer en 1 meter lang strimle isolasjon på 48 x 100 mm.

Dobbelt stenderverk	
	
Pris Ytre stender 148 mm	19,59 kr/lm u/mva
Pris Isolasjonssjikt Glava extreme33 48 x 100 mm	1,84 kr/lm u/mva
Pris Indre stender 98 mm	10,32 kr/lm u/mva
Total	31,75 kr/lm u/mva

Tabell 19 Prisvurdering dobbelt stenderverk og isolasjon [byggmax.no og maxbo.no]

Vi ser at prisen på dobbelt stenderverk ca vil være 1/5 av prisen til Iso3 stenderen. Grovt regnet vil man bruke 7 500 løpemeter stender i bygget. Dette gir en besparelse på ca 1 030 000 kr i materialkostnad dersom man velger dobbelt stenderverk.

Det vil nok komme noen flere utgifter som ikke kommer med i dette enkle overslaget. Fordi stenderne er frittstående må det inn noe lokalforankring, og vi ser for oss at det vil bli noen flere arbeidstimer med denne veggen.

Vi velger å bygge veggene med dobbelt stenderverk mest med tanke på at det

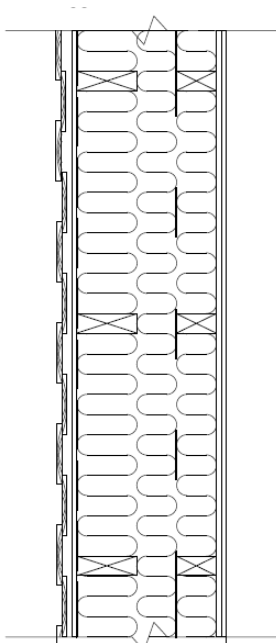
gjennomgående isolasjonssjiktet vil være gunstig i passivhussammenheng og at både U-verdi og pris taler for dette bæresystemet.[45][46][47]

4.5 Vegg

Ved vurdering av ytterveggene i bygget ser vi først på hvilken veggoppbygging som er tenkt. Som tidligere nevnt skal veggene bygges av bindingsverk. Den skal fylles med isolasjon og tettes med dampspærre og vindsperre i plateform. Det skal være dobbel gips på innsiden og på utsiden skal det en luftespalte før den kles med stående trepanel. Her er et utsnitt av en slik vegg, hentet fra Byggforsk. Den har riktig nok liggende panel, men det utgjør ikke noe i denne sammenhengen. Her ser vi at trestenderen går kontinuerlig fra vindsperren på yttersiden til dampspærren på innsiden. De ulike U-verdiene henter vi fra tabellen i vedlegg F. Her ser vi at de variable faktorene er kvaliteten på isolasjonen, stender bredde og lengden d , som er stender og isolasjonstykkelse. Det er oppgitt at den totale isolasjonsbredden skal være 250 mm og det skal benyttes 36 mm trestender. Den vanligste isolasjonstypen i dag har en varmekonduktivitet på $0,037 \text{ W/mK}$. Dersom man går for denne gir det en U-verdi på $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Denne verdien ligger akkurat på kravet i TEK-10.

Selv om NS3701 ikke har noen nye krav for U-verdier i ytterkonstruksjoner vil ikke $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ være godt nok for et passivhus. Dette fordi en slik vegg vil gi for stort varmetap til at man kommer innenfor kravet om oppvarmingsbehov. Som vist i tabell 12, Resultatsimuleringer 2, bør U-verdien nesten halveres for å holde tilstrekkelig på varmen. Vi mener at veggene bør ha en U-verdi som ligger rundt $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$.

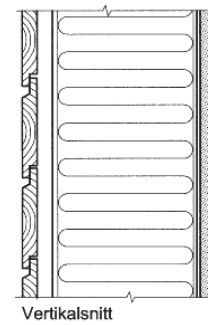
Vi har valgt en dobbel stenderverksvegg, noe vi mener vil være et godt alternativ i dette prosjektet (vedlegg E). Fra kapittelet over ser vi at for å oppnå den ønskede U-verdien bør vi ha 350 mm



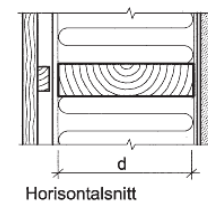
Figur 33 Yttervegg med dobbelt stenderverk

isolasjon i vegg. Selve oppbyggingen av veggene kan variere ettersom hvilke størrelser man velger på de to stenderne. Det mest naturlige i dette tilfellet vil være å velge enten en oppbygging på $198 \times 48 \times 98 \text{ mm}$ eller $148 \times 98 \times 98 \text{ mm}$ fra ytre stender og innover. Ved å simulere disse alternativene i THERM finner vi U-verdien, som er på henholdsvis $0,104 \text{ W/m}^2\text{K}$ og $0,099 \text{ W/m}^2\text{K}$ (vedlegg G). Velger man veggene med et kontinuerlig isolasjonssjikt på 98 mm istedenfor 48 mm, vil man over hele veggene klare kravet til tykkelse på kuldebrytere. Med tanke på bæring vil 148 mm være nok, da veggene ligger på utsiden av byggets bæresystem og kun vil bære seg selv. I tillegg til å utføre simuleringer av veggene i THERM har vi også gjort håndberegninger for å kontrollere resultatet. I håndberegningene endte vi opp med en U-verdi på $0,087 \text{ W/m}^2\text{K}$ (håndberegninger vist i vedlegg H).

Utsnittet til venstre er et horisontalt snitt over oppbyggingen av veggene. Fra innsiden er det doble gipsplater, indre stender og isolasjon på 98 mm, dampspærre, kontinuerlig isolasjonssjikt på 98 mm, ytre stender og isolasjon på 148 mm, dobbel vindsperre, luftespalte og ytterkledning. Det skal benyttes isolasjon med varmekonduktivitet på $0,033 \text{ W/mK}$ og stenderne skal ha en tykkelse på 48 mm. Dampspærren legges mellom de indre stenderne og isolasjonssjiktet. Dette gir høyere beskyttelse mot punktering og dette



Vertikalsnitt

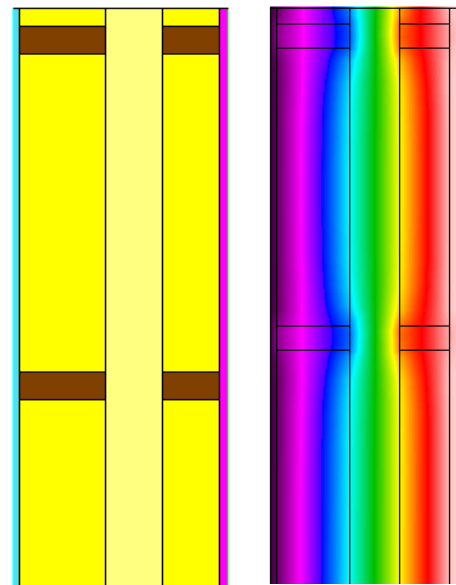


Horisontalsnitt

Figur 32 Veggssnitt U-verdi $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ [NBI 471.012]

forenkler arbeidet med rør- og ledningsføringer. Som nevnt tidligere velger vi dobbel vindsperre. En type på rull ytterst og en i plateform innenfor. Platene blir en del av avstivingen til bygget og med rullproduktet får man den fleksibiliteten som gjør at bygget får en helt tett klimaskjerm.

Denne veggkonstruksjonen er grunnlaget for arbeidet med de fleste detaljene og simuleringene i THERM, som benyttes når man skal finne de ulike kuldebroverdiene. Veggen tegnes opp i riktig størrelse, med gitte materialvalg og grenseverdier. Dette snittet er horisontalt og da THERM er et todimensjonalt beregningsprogram tar det ikke hensyn til hva som befinner seg i veggen utover dette. Her er det viktig å tenke over det man ikke ser på tegningen. Det er derfor isolasjonen har to forskjellige farger og verdier. Den lysegule fargen viser det sjiktet hvor isolasjonen er kontinuerlig gjennom veggen, og vil derfor ha materialeegenskapene til isolasjonen. Der hvor isolasjonen er mørkere gul er det tatt hensyn til at det er sviller i det vertikale planet, som ikke vises her. Denne er gitt en varmekonduktivitet på $0,038 \text{ W/m}^2\text{K}$, som tilsvarer en treandel i sjiktet på 6 %. For å forenkle modellene ytterligere



Figur 34 Yttervegg modell THERM og varmegjennomgang

når vi skal regne på tilslutninger fjerner vi stenderne på tegningen. Da øker vi treandelen i de feltene hvor stenderne skal stå til 15 %. Modellene i sin helhet er vist i vedlegg G.

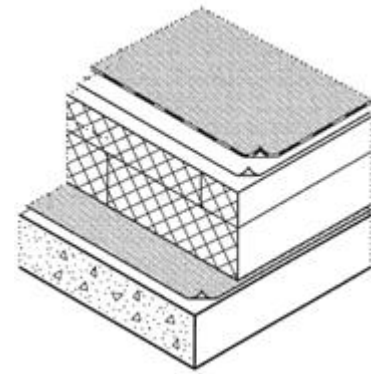
Den andre figuren viser hvordan temperaturen fordeler seg gjennom veggen ved en temperaturdifferanse på 40K.

	Varmekonduktivitet	Materiale
	$0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$	Vindsperre
	$0,033 \text{ W/m}^2\text{K}$	Isolasjon
	$0,038 \text{ W/m}^2\text{K}$	Isolasjon, 6 % treandel
	$0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	Trestender
	$0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$	Gips

Tabell 20 Materialbeskrivelse THERM

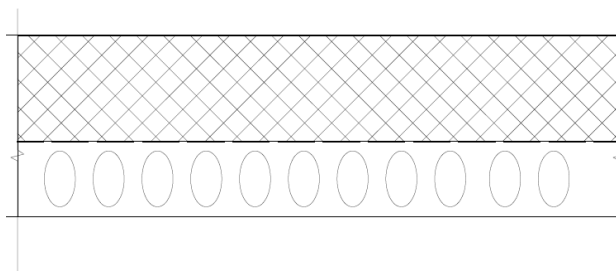
4.6 Tak

Det skal være flatt tak av hulldekker med 250 mm tykkelse. Over hulldekkene skal det være dampsperre, isolasjon og tekking. Taket skal ha en helning på minimum 1/40 på grunn av drenering. En slik oppbygging er vist på figuren til høyre. I TEK10 er kravet at U-verdien skal være maksimalt 0,13 W/m²K. Fra Byggforsk, vedlegg F, ser vi at dette tilsvarer et tak med 300 mm isolasjon med varmekonduktivitet lik 0,038 W/mK. Dette er også den isolasjonstykkelsen som er tenkt i taket.



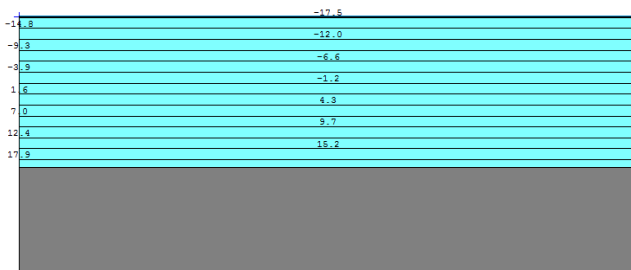
Vi mener at U-verdien på taket må ligge rundt seg 0,10 W/m²K. For å klare dette må vi inn med litt mer isolasjon. Vi kjører derfor to

Figur 35 Tak etter krav i TEK-10 [NBI 471.013]



Figur 36 Valgt takoppbygging

beregninger i THERM. En for et tak med 350 mm isolasjon og en med 400 mm. Begge simuleringene er med trykkfast isolasjon som har en varmekonduktivitet på 0,037 W/mK. Foruten hulldekket og isolasjonen har vi et lag med takpapp på 2 mm i beregningen. Taket med 350 mm vil få en U-verdi på 0,102 W/m²K, mens taket med 400 mm har 0,091 W/m²K. Vi velger å jobbe videre med taket på 350 mm. Vi mener dette er tilstrekkelig. Dessuten vil kostnaden ved å øke nye 50 mm på isolasjonen trolig være høyere enn fortjenesten.



Figur 37 Temperaturforandring simulert i THERM

Figuren til venstre viser modelloppbyggingen i THERM og hvordan varmegjennomgangen i taket er. Denne modellen benyttes også når vi skal beregne kuldebroverdier for gesimsen.

4.7 Gulv

For gulvet er det er ikke gitt andre opplysninger enn at det skal bygges gulv på grunn og hvilke dimensjoner som er valgt. For å vurdere gulvet må vi se på to tilfeller. Det første er gulvet i hoveddelen av skolebygget. Her vil vi bruke de opplysningene som er gitt om hvordan gulvet er planlagt. Når vi kommer til verkstedet er det noen flere elementer å ta hensyn til. Blant annet må gulvet dimensjoneres for både store punktlaster fra maskiner og utstyr, og hjullaster fra større kjøretøy.

Kravet til U-verdien for gulv i TEK-10 er $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette tilsvarer et 250 mm betongdekke med 250 mm isolasjon under. Denne verdien er hentet fra tabellen i vedlegg F. Dette gitt at det er isolasjon med varmekonduktivitet $0,038 \text{ W/mK}$.

4.7.1 Gulv i hoveddelen

I simienfilen er det valgt et gulv med 100 mm betong og 350 mm isolasjon. Det er ikke oppgitt hvordan denne isolasjonen skal fordeles, men det er gitt en U-verdi på $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$. Da dette er en relativt høy U-verdi for et gulv med så mye isolasjon, antar vi at all isolasjonen ligger under betongdekket.

For beregninger i Simien er det gitt en ekvivalent U-verdi som vurderes opp imot kravene. Denne U-verdien bør ligge ned mot $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette betyr ikke at gulvet i seg selv bør holde så godt på varmen. Den ekvivalente U-verdien tar nemlig hensyn til både grunnmurstilslutningen, gulvareal og gulvets U-verdi. Gulvet med 350 mm isolasjon som er tenkt i dag tilfredsstillende denne verdien.

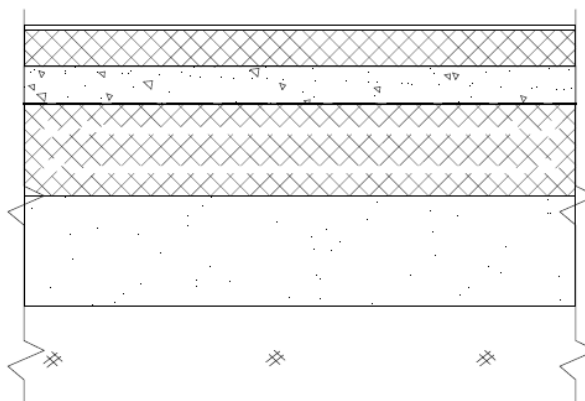
Vi skal se nærmere på dagens alternativ for å finne det vi mener er den gunstigste isolasjonsfordelingen i gulvet. Vi kjører 3 kalkuleringer i THERM, for å se hvordan varmen fordeler seg i de ulike alternativene. Med isoporplater (EPS/XPS) som isolasjon med en varmekonduktivitet på $0,037 \text{ W/mK}$ får vi resultatet som er gitt i tabellen under.

Gulvoppbygging	0 mm isolasjon over 100 mm betong 350 mm isolasjon under	50 mm isolasjon over 100 mm betong 300 mm isolasjon under	100 mm isolasjon over 100 mm betong 250 mm isolasjon under
U-verdi	$0,123 \text{ W/m}^2\text{K}$	$0,108 \text{ W/m}^2\text{K}$	$0,102 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabell 21 U-verdi ved ulike isolasjons plassering

Vi får den beste U-verdien ved å legge 100mm av isolasjonen på oversiden av betongen. Dette vil gi oss et bedre resultat med tanke på beregning av kuldebro mot grunnmur/vegg fordi en større del av konstruksjonen vil holde på varmen. Man vil få mindre kulderas og ubehag ved overgangene. Vi velger derfor å jobbe videre med denne løsningen for gulvet inne i hoveddelen av første etasje.

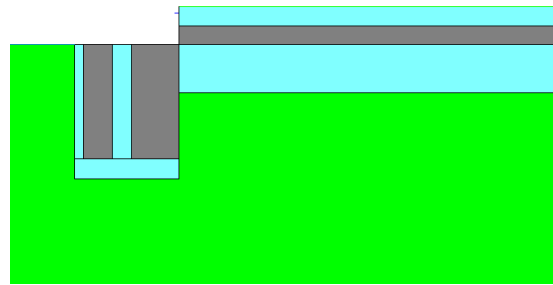
Gulvet skal avsluttes med et slitesterkt gulvbelegg, da dette vil bli noe av det mest trafikkerte området i nybygget. Det skal legges inn dampspærre under betongen,



Figur 38 Valgt gulvoppbygging

samt en fiberduk mellom grunnen og det avrettede pukklaget under isolasjonen.

Når man beregner U-verdien til gulvet i THERM er det noen flere faktorer å ta hensyn til enn når man tegner vegg og tak. Foruten oppbyggingen av gulvet må man også ta med grunnmuren (uten fundament) og en gitt størrelse av grunnen. Denne modellen er bygd opp i henhold til Prosjektrapport 25.

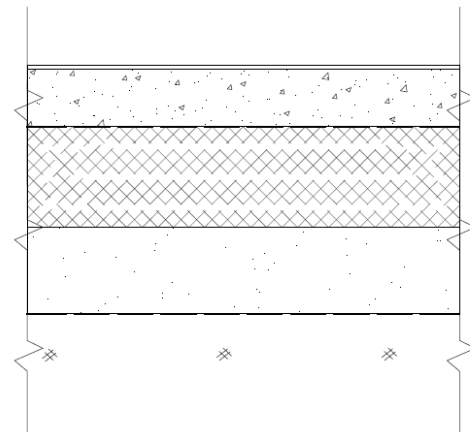


Figur 39 Modell av gulv THERM

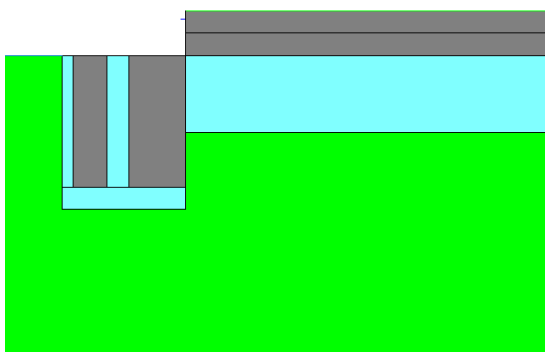
4.7.2 Gulv i verkstedet

Da gulvet i verkstedhallen skal dimensjoneres for både hjullaster og større punktlaster må betongtykkelsen i gulvet økes. Det er også gitt at det ikke kan ligge isolasjon over betongen. Den største forskjellen fra gulvet i hoveddelen vil ligge i valg av tilslutning mot grunnmur og hvordan dette vil påvirke kuldebroverdien. Dette kommer vi tilbake til.

Vi jobber videre ut fra beregningene av gulvet i hoveddelen. Her ser vi at U-verdien ligger ca. på 0,12 W/m²K dersom vi ikke har isolasjon over betongen. Ved å kjøre en simulering på et tilsvarende gulv med 200 mm betong finner vi en U-verdi lik 0,124 W/m²K. Kravene til oppvarmingsbehov i en verkstedhall er ikke like strenge som for en skole. Dette gjør at man i utgangspunktet kan ha litt høyere U-verdier, så fremt de ikke overskrider kravene i TEK-10. Vi kunne derfor ha gått litt ned på isolasjonstykkelsen. Da vi fortsatt jobber ut ifra dette bygget som en sone, og velger å holde oss på den linjen vi la tidligere. Dette gir fortsatt et ønske om U-verdi på 0,12 W/m²K. Vi velger en gulvoppbygging som vist til høyre.



Figur 40 Valgt oppbygging av gulv i verkstedet



Figur 41 Modell av gulvet i verkstedet THERM

Her har vi i forhold til gulvet i hoveddelen tatt vekk gulvbelegget og går for en tynnavretting i betong. Dette gir foruten slitestyrke mulighet for å legge inn litt fall dersom det er ønskelig. Videre kommer 200 mm betong, dampsperrer og 350 mm isolasjon i form av isoporplater (EPS/XPS) med varmekonduktivitet lik 0,037 W/mK.

4.8 Tilslutninger

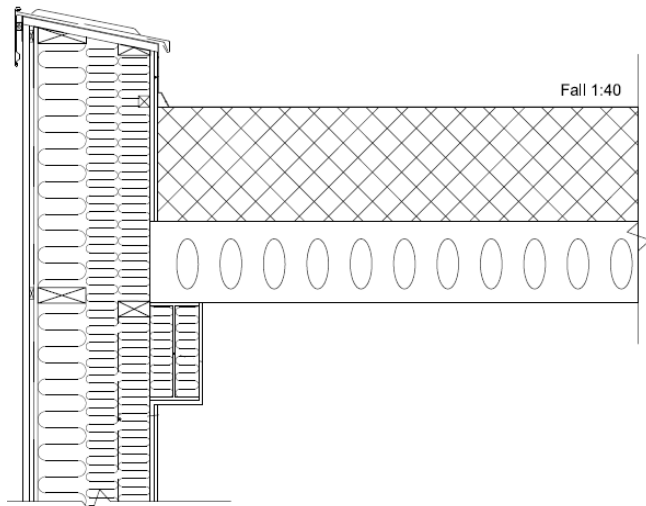
I et så stort og komplekst bygg som Bodø vgs. er det veldig mange tilslutninger som må tegnes, dokumenteres og beregnes. Dette er enda viktigere når man skal bygge passivt. Man kan ha både vegger, gulv og tak med veldig lave varmegjennomstrømninger, men dette hjelper lite dersom tilslutningene utføres på en slik måte at man får store kulderas i bygget. Da vil man ikke oppnå kravet til normalisert kuldebroverdi. Dette kravet er for passivhus satt til $0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$.

De kuldebroverdiene som inngår i beregning av normalisert kuldebroverdi er de som kommer fra gesimsen, etasjeskillene, hjørnene, grunnmuren og vindu-/dørovergangene. Vi har valgt å fokusere på de fire første, men vi har også kommet fram til kuldebroverdiene i de ulike vindus- og dørtilslutningene. Alle tilslutningene er vist i detaljtegninger (vedlegg E) og THERM modeller (vedlegg G).

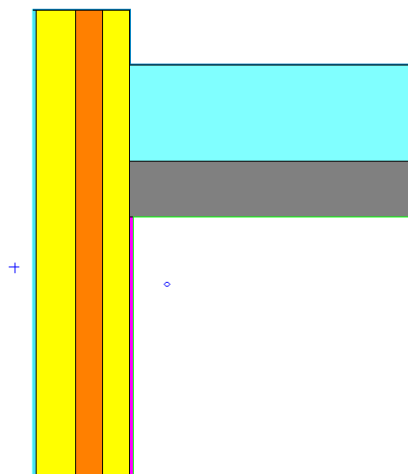
4.8.1 Gesims

Gesimsen er overgangen mellom veggen og taket vil være lik rundt hele bygget. Her er det tegnet en løsning hvor vi har sammenføyet gulv og tak. Når man skal beregne kuldebroverdien for en slik overgang er det viktig å tenke på kravet til kuldebrobryteren. En kuldebrobryter er et kontinuerlig isolasjonssjikt på utsiden av kuldebroen. Dette sjiktet skal minimum være 100 mm. Vi ser raskt at med vår valgte løsning for vegg og tak vil ikke dette være noe problem. Tegningen brukes som tegneunderlag i THERM, hvor vi forenkler den og kjører simulering av tilslutningen.

Til høyre er en illustrasjon av hvordan gesimsoppbyggingen er. For å få en tett klimaskjerm er det viktig med kontinuerlig vindsperre. Vindsperreplatene på veggen avsluttes mot toppen mens rullsperran føres over toppen av veggen og klemmes fast av takpappen. Da vil man sikre en helt tett bygningskropp. Dampsperran på innsiden av tilslutningen må også være kontinuerlig. Her føres dampsperran fra veggen opp og over hulldekket.



Figur 42 Valgt oppbygging av gesims



Figur 43 Modell av gesims THERM

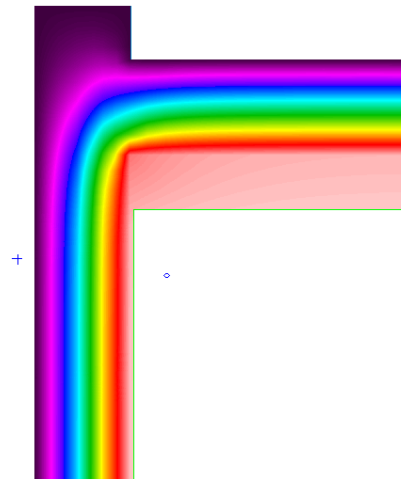
Stålbjelken på innsiden av veggen bærer hulldekket i taket. Disse bjelkene bæres av stålsøyler som går nedover i bygget. Bjelkene og søylene vil ikke være med i beregningene i THERM, da de ligger innenfor klimaskjermen og ikke har noe å si for kuldebroverdien.

Ved å forenkle oppbyggingen i THERM får man en mer nøyaktig utregning. Ved å modellere flere smådetaljer vil programmet få en større prosentvis usikkerhet. Både veggen og taket er bygd opp på samme måte som når vi skulle finne U-verdiene hver for seg. Disse U-verdiene vil man få bruk for når man nå skal finne kuldebroverdien. Grenseverdiene er også lik

som for enkelttilfellene, men nå har vi lagt inn at vi ønsker felles U-verdi for de innvendige grensene. På denne måten får vi en samlet U-verdi for hele detaljen, samt lengden på den.

Når vi har bygd opp modellen kjører vi først en simulering for å se hvordan varmen fordeler seg gjennom konstruksjonen. Dersom vi allerede her ser at for mye av veggen/taket vil være kald må den valgte løsningen forandres før vi beregner videre. Fargelinjene viser hvordan varmen fordeler seg ut gjennom tilslutningen. Siden vi har en relativt jevn varmestrøm er dette et godt alternativ. Det som hadde vært kritisk er om alle linjene hadde samlet seg om et punkt, for eksempel hjørnet på hulldekket. Dette hadde vist at luft med stor temperaturdifferanse hadde møttes. Hadde det vært tilfellet kunne det oppstått et kondensproblem i dette punktet, og det kunne ført til fukt- og råteskader.

For å beregne kuldebroverdien for denne detaljen benytter vi formelen gitt i avsnitt 2.4.2. Først finner vi først den totale U-verdien for vår valgte løsning. Denne er $0,113 \text{ W/m}^2\text{K}$. For å finne det totale varmetapet, L^{2D} , må verdien multipliseres med den totale lengden den er beregnet for. Det er 1 meter vegg og 1 meter tak som stikker ut fra hjørnet i sammenføringen, altså 2 meter totalt. Da finner vi L^{2D} som er $0,226 \text{ W/mK}$. Varmetapet for veggen og taket skal trekkes fra dette resultatet for å finne kuldebroverdien. Dette varmetapet vil være de gitte U-verdiene, U_i , fordi de skal multipliseres med lengden, l_i , som er 1 m. Resultatet er vist i tabellen under. Når man skal beregne byggets normaliserte kuldebroverdi må man multiplisere denne verdien med antall løpemeter gesims. Dette kommer vi tilbake til i beregningene av normalisert kuldebro.



Figur 44 Varmegjennomgang i gesimsdetaljen

	U-verdi	Lengde	Varmetap
Totalt for gesims	$0,113 \text{ W/m}^2\text{K}$	2 m	$0,226 \text{ W/mK}$
Vegg	$0,099 \text{ W/m}^2\text{K}$	1 m	$0,099 \text{ W/mK}$
Tak	$0,102 \text{ W/m}^2\text{K}$	1 m	$0,102 \text{ W/mK}$
Kuldebroverdi Gesims			$0,025 \text{ W/mK}$

Tabell 22 Beregning kuldebroverdi gesims

4.8.2 Etasjeskille

Neste aktuelle kuldebro er overgangen mellom yttervegg og etasjeskille. Bygget har to etasjeskiller og detaljen vil være aktuell for å redusere den normaliserte kuldebroverdien. Denne detaljen skiller seg ikke spesielt ut fra gesimsen som var vist ovenfor, som også har hulldekkeelement mot yttervegg. Vi har her valgt å dra hulldekket lengre inn i veggen på grunn av lydegenskaper og bæring av det innerste bindingsverket.

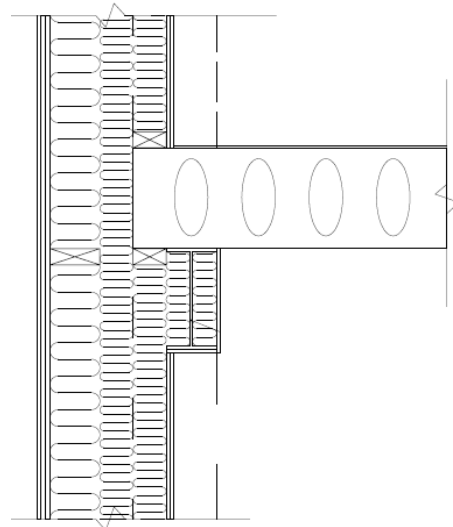
Som vi ser av figuren ved siden av går hulldekket 122 mm ut fra den bærende IPE-bjelken. Dette er ikke noe problem med tanke på bæring siden bindingsverket er med på å bære lastene. Også her vil bæresystemet av stål være på innsiden av ytterkonstruksjonen og er ubetydelig for kuldebrosimuleringene.

Grunnen til at overgangen fører til kuldebro er det reduserte isolasjonssjiktet i dekkeforkanten. I detaljen går 98 mm av isolasjonen bort, men vi vil fremdeles ha en kontinuerlig kuldebroyter på 98 mm.

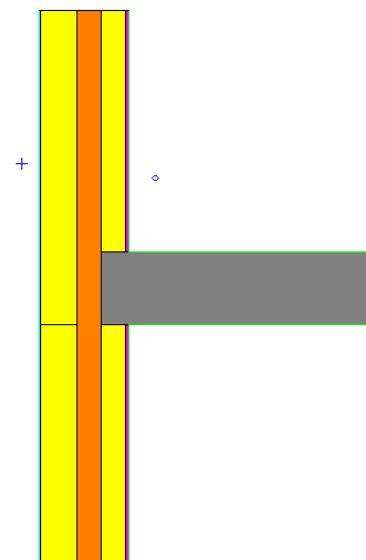
Som en ekstra fordel ved å utføre detaljen på denne måten vil dampsperran enkelt kunne føres kontinuerlig mellom de to etasjene. Siden dampsperran føres på innsiden av det innerste bindingsverket vil hulldekke også ligge innenfor uten å skape skjøter som forårsaker lekkasjer. I simuleringene blir det ikke tatt hensyn til systemhimlingene eller tilfarere over dekket. Ekstra isolering på under- og oversiden av dekket vil ikke gi noen betydelig forandring på kuldebroverdien i tilslutningen, men vil derimot redusere U-verdien på dekket.

Som gesimsen beregnes kuldebroverdien av overgangen ved å benytte formelen vist i punkt 2.4.2. De to tilsluttende bygningsdelene som her skal medregnes er ytterveggen over og under kuldebropunktet, så U-verdien av selve etasjeskillet vil være ubetydelig. Ved å ha beregnet U-verdien til vegg, og på grunn av at veggene over og under er identiske, vil modelleringen i Therm være enkel. Eneste forskjellen vil være hulldekkets tykkelse og betongens varmeegenskaper.

Figuren ved siden av viser modellen som er laget i Therm. Modellen viser 1 meter av de to tilsluttende veggene og 1 meter av hulldekket. U-verdien på veggene er beregnet tidligere til 0,099 W/m²K. Disse verdiene utgjør U_i og l_i i formelen (U-verdien og lengden på hver enkelt vegg). Grenseverdiene i oppbyggingen er de samme som for beregningene av vegg og gesims, og vi finner en felles U-verdi for de innvendige grensene.



Figur 45 Valgt oppbygging av etasjeskille

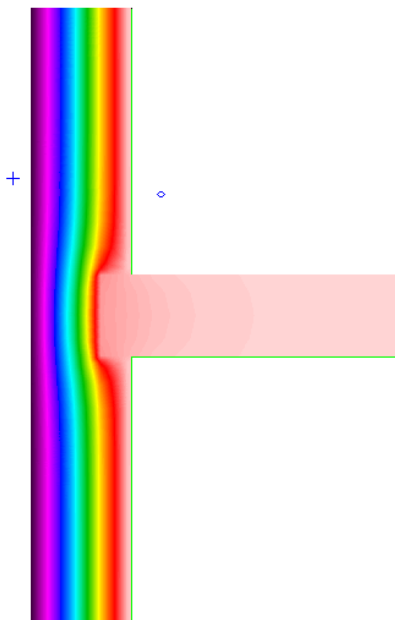


Figur 46 Modell av etasjeskille THERM

Etter å ha kjørt simuleringen får vi den totale U-verdien og lengden på hele overgangen. Resultatet er en samlet U-verdi på $0,091 \text{ W/m}^2\text{K}$ over en lengde på 2,3 m. Disse verdiene multipliseres for å finne det totale varmetapet, L^{2D} . Kuldebroverdien beregnes da ved å trekke summen av varmetapet fra veggene, fra det totale varmetapet beregnet i Therm. Ved valgt utførelse ender vi opp med en kuldebroverdi som er vist i tabellen nedenfor. Beregningene av kuldebroverdi for overgangen er også utført for hånd i vedlegg H, her vises resultatet ved bruk av de fire ulike metodene beskrevet i punkt 2.4.2.

	U-verdi	Lengde	Varmetap
Totalt for etasjeskille	$0,091 \text{ W/m}^2\text{K}$	2,3 m	$0,209 \text{ W/mK}$
Vegg over hulldekke	$0,099 \text{ W/m}^2\text{K}$	1 m	$0,099 \text{ W/mK}$
Vegg under hulldekke	$0,099 \text{ W/m}^2\text{K}$	1 m	$0,099 \text{ W/mK}$
Kuldebroverdi Etasjeskille			$0,011 \text{ W/mK}$

Tabell 23 Beregning kuldebroverdi etasjeskille



Figur 47 Varmegjennomgang etasjeskille

Figuren som er vist viser temperaturforandringene i konstruksjonen som følge av etasjeskillet. Da vi kan fortsette det kontinuerlige isolasjonssjiktet vil ikke overgangen medføre fare for kulderas eller fukt på dampsperran. Vi kan se av figuren at varmen fra inne trekker lenger inn i veggene, men at innetemperaturen og utetemperaturen ikke får kontakt.

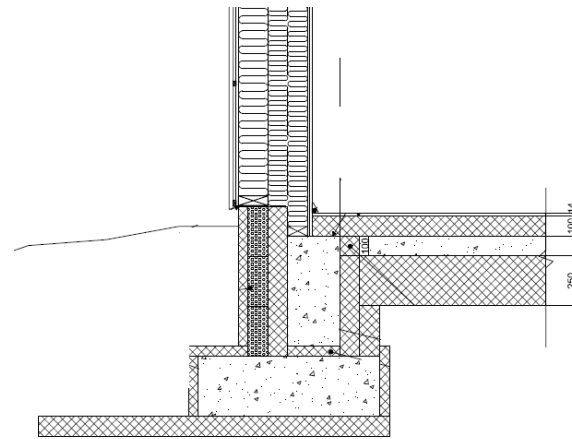
Siden den planlagte skolen skal ha verksted og fellesareal som går over flere etasjer, vil den totale lengden på overgangen yttervegg/etasjeskille bli redusert. Så med lav kuldebroverdi og begrenset lengde hvor tilslutningen forårsaker kuldebro vil detaljen være god for å redusere varmetap.

4.8.3 Grunnmur

Grunnmursdetaljen beskriver overgangen mellom vegg, gulv og fundament. Grunnmuren i bygget vil på samme måte som gulvet bli utført på to ulike måter. I hoveddelen vil det være mulig å legge inn en kuldebrobryter i form av randisolasjon mellom gulv og grunnmur. I verkstedet skal dekket støpes som en stiv plate. Denne skal armeres og støpes sammen med grunnmuren. Dette er på grunn av de store lastene inne i verkstedet og at man skal kjøre gjennom portene.[48]

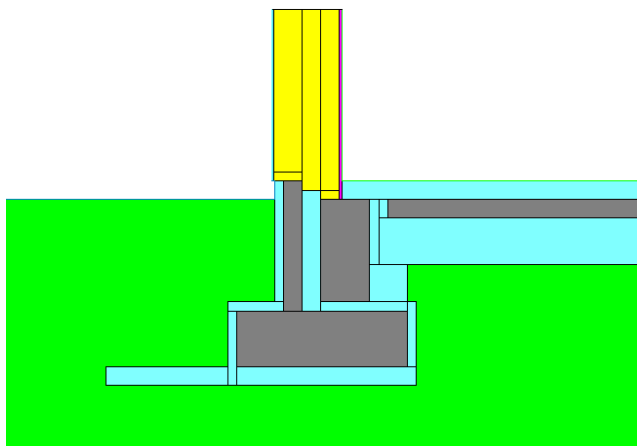
Grunnmur i hoveddelen

Veggen skal bygges opp av dobbelt stenderverk som gir mulighet for å forankre veggen på to ulike nivåer mot grunnmuren. Den innerste stenderen skal stå på den støpte grunnmursringen sammen med stålsøylene som bærer bygget. For den ytterste stenderen bygges en egen grunnmur på utsiden av den støpte. Denne skal bygges opp av 100 mm Lecablokker og 50 mm trykkfast isolasjon. Her hadde det beste alternativet vært å bygge med Leca isoblokk. Denne blokken har et isolerende sjikt i midten, men disse blokkene produseres ikke i ønsket dimensjon. Når vi deler opp grunnmuren får vi rom til å dra det kontinuerlige isolasjonssjiktet helt ned til fundamentet isteden for å måtte avslutte den der hvor veggen slutter. Dette ekstra isolasjonslaget i bakken vil gjøre stor forskjell for kuldebroverdien i tilslutningen.



Figur 48 Valgt oppbygging av grunnmur

Bredden og høyden på fundamentet er 900 mm og 300 mm. Den støpte grunnmuren er 260 mm bred og har en høyde på 550 mm. Både fundamentet og grunnmuren armeres og støpes kontinuerlig langs hele byggets ytterkant. Lecablokkene er som sagt 150 mm brede og vil gå 200 mm høyere opp enn grunnmuren i betong. Over Lecablokkene legges en tettepakning. Tresvillen forankres ned i blokkene gjennom denne pakningen før sidene av pakningen brettes rundt svillen. Dette gir en tettere overgang mellom grunnmur og vegg.



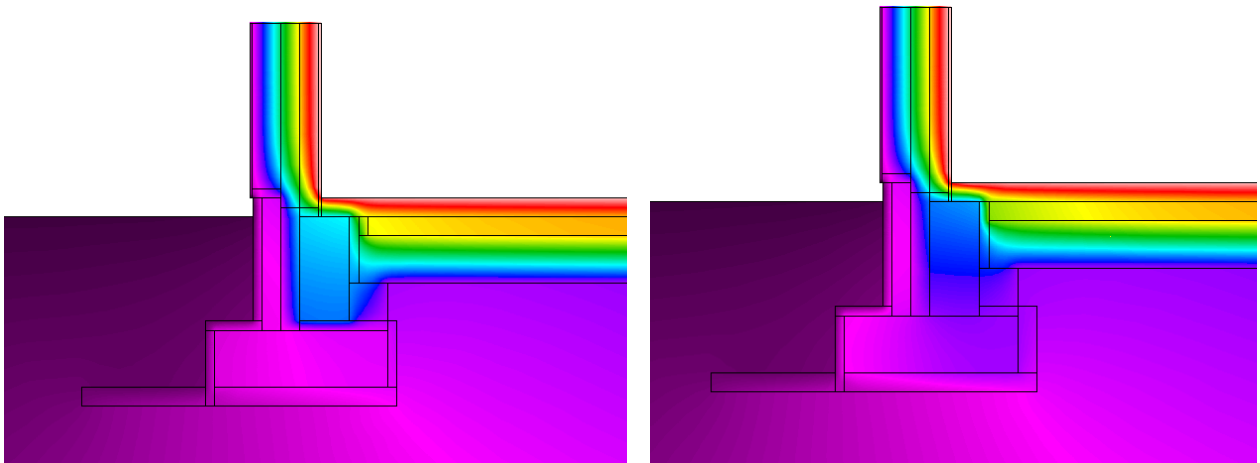
Figur 49 Modell grunnmur THERM

Tilfareren i gulvet trekkes helt inn til veggen, foruten der hvor stålstenderne føres ned. Dampspærren fra gulvet føres opp langs betongdekket, under tilfarer og opp i veggen. Dette gjør at man får en kontinuerlig sperre gjennom tilslutningen. Det legges inn en kuldebrobryter på 100 mm mellom gulvet og grunnmuren, samt en kuldebrobryter på 50 mm mellom grunnmur og fundament. Over og på sidene av fundamentet skal det legges inn 50 mm isolasjon. Isolasjonen under fundamentet og markisolasjonen skal være på 100 mm. Det legges også 50 mm isolasjon

opp langs lecablokkene.

I vår modell fra THERM er vegg og gulv forenklet for å gi en mer nøyaktig beregning. På samme måte som for gulvet er det egne krav til modellen i THERM når man skal beregne grunnmur. Det må legges inn en like stor del av grunnen og man må beregne for 4 m av dekket. Bildet av modellen er kun et utsnitt.

Når vi simulerer modellen ser vi funksjonen til kuldebryteren. Modellen til høyre viser varmestrømmen gjennom grunnmuren med en 50 mm kuldebryter mellom gulv og grunnmur. Modellen til venstre viser vår oppbygging med 100 mm + 50 mm kuldebryter. Kuldebryteren mellom grunnmur og fundament gjør at grunnmuren får en høyere temperatur. Dette fører videre til at vi får en mer jevn varmestrøm i hjørnet mellom vegg og gulv. Man kan også legge inn isolasjon under lecablokkene. Men etter å ha simulert dette alternativet ser vi at det ikke utgjør noen vesentlig forskjell. Dette fordi varmen inne er for langt unna.



Figur 50 Varmegjennomgang grunnmur med 100mm og 50mm kuldebryter

Den totale U-verdien for grunnmursdetaljen er $0,099 \text{ W/m}^2\text{K}$. Med en lengde på 4,9 m gir dette en L_{2D} på $0,485 \text{ W/mK}$. Når vi trekker fra varmetapet for gulv og vegg finner vi kuldebroverdien som er $0,011 \text{ W/mK}$.

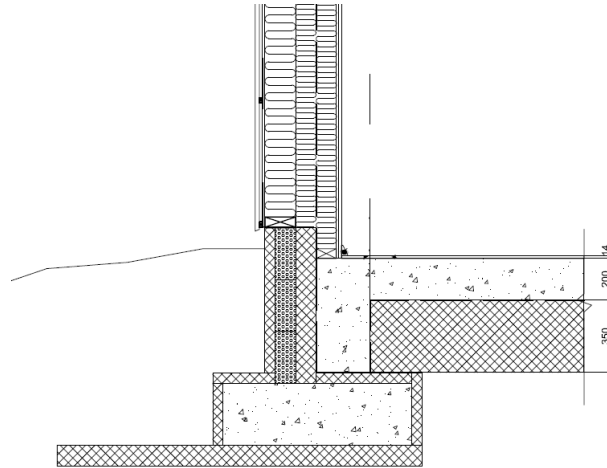
	U-verdi	Lengde	Varmetap
Totalt for grunnmur	$0,099 \text{ W/m}^2\text{K}$	4,90 m	$0,485 \text{ W/mK}$
Vegg	$0,099 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,92 m	$0,091 \text{ W/mK}$
Gulv	$0,102 \text{ W/m}^2\text{K}$	3,75 m	$0,383 \text{ W/mK}$
Kuldebroverdi Grunnmur			$0,011 \text{ W/mK}$

Tabell 24 Beregning kuldebroverdi grunnmur

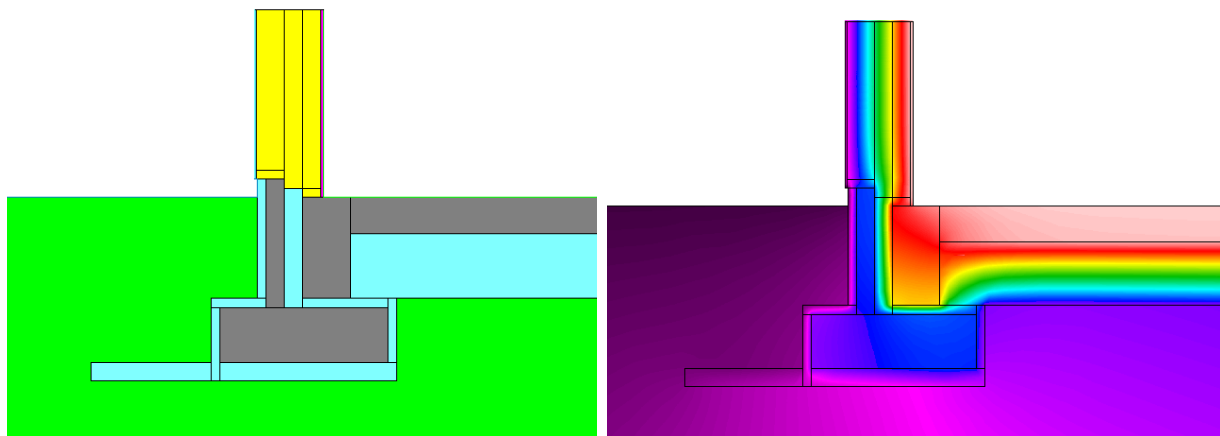
Grunnmur i verkstedet

Forskjellen mellom grunnmursdetaljen for hoveddelen og verkstedet er tilslutningen mellom gulv og grunnmur. Veggens forankring, størrelse på fundament og grunnmur og isolasjonstykkelse er de samme.

For at gulvet skal kunne kobles sammen med grunnmuren med armering er det ikke mulighet for å plassere en kuldebrobryter her. Dette fører til at det blir et større varmetap i verkstedet enn i bygget for øvrig, selv om det er et tykkere isolasjonslag under gulvet her.



Figur 51 Valgt oppbygging av grunnmur verksted



Figur 52 Modell og varmegjennomgang grunnmur verksted

Etter å ha simulert modellen ser vi at den totale U-verdien er $0,124 \text{ W/m}^2\text{K}$. Multiplisert med lengden gir dette oss et totalt varmetap på $0,662 \text{ W/mK}$. Som vist i tabellen er den beregnet for en større lengde enn for grunnmuren i hoveddelen. Årsaken til dette er at når man tar vekk tilfarer vil en større del av veggen bli med i beregningene. Kuldebroverdien for tilslutningen er $0,061 \text{ W/mK}$. Dette er nesten seks ganger så mye som for grunnmuren i hoveddelen. Det er ikke overraskende med tanke på at det verken er tilfarer eller kuldebrobryter i denne delen.

	U-verdi	Lengde	Varmetap
Totalt for grunnmur verksted	$0,124 \text{ W/m}^2\text{K}$	5,02 m	$0,622 \text{ W/mK}$
Vegg	$0,099 \text{ W/m}^2\text{K}$	1,00 m	$0,099 \text{ W/mK}$
Gulv	$0,120 \text{ W/m}^2\text{K}$	3,85 m	$0,462 \text{ W/mK}$
Kuldebroverdi Grunnmur			$0,061 \text{ W/mK}$

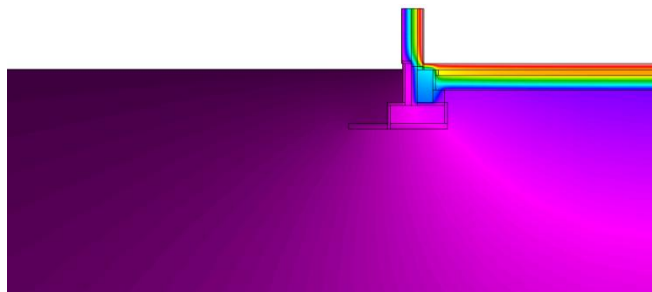
Tabell 25 Beregning kuldebroverdi grunnmur verksted

Varmetap mot grunn

For gulv på grunn har vi tre potensielle varmestrømsbaner. Vi har varmetap via gulvet og toppen av ringmuren og varmetap gjennom den nedre delen av ringmuren/fundamentet. Summen av disse to varmestrømmene er transmisjonsvarmetapet som følge av kuldebroverdien beregnet ovenfor. Med lavere kuldebroverdi får vi mindre varmestrøm. Den siste banen for varmestrøm er varmetapet til grunnen gjennom gulvet generelt. Området fra gulvet og ned mot grunnen består av masser/materialer med stor varmekapasitet og varmestrømmen vil av den grunn være tilnærmet stasjonær og endimensjonal. Varmetapet vil påvirkes av mer langsomme temperatursvingninger i forhold til de tidligere strømbanene som påvirkes mer av utetemperaturen.

Siden vi har godt isolerte gulv med liten U-verdi vil varmetapet være begrenset i området under gulvet. Det vil etter hvert dannes et varmelager eller varmemagasin sentralt i grunnen under gulvet. Dette kommer av at varmestrømmene ned til grunnen etter hvert stabiliserer seg, og vil kun påvirkes av sigevann og grunnvannsstrømninger. Dette prinsippet er vist med figuren ved siden av.

For Bodø vgs. vil det ikke være muligheter for sigevann siden bygget står i flatt terreng med stabil grunn. Endringer i grunnvannstanden kan være mulig, men vi vil over tid få et varmemagasin under bygget. I resultatene av simuleringene som ble gjort tidligere i avsnittet om gulv på grunn kan vi tydelig se omrisset av varmelageret som dannes. Dette er vist ved å ta med en av figurene ovenfor



Figur 53 Varmelagring under gulv [NBI 521.112]

men med større del av gulvet. Vi kan av figuren se tydelige fargeforskjeller på grunnen under bygget og ved terrenget.

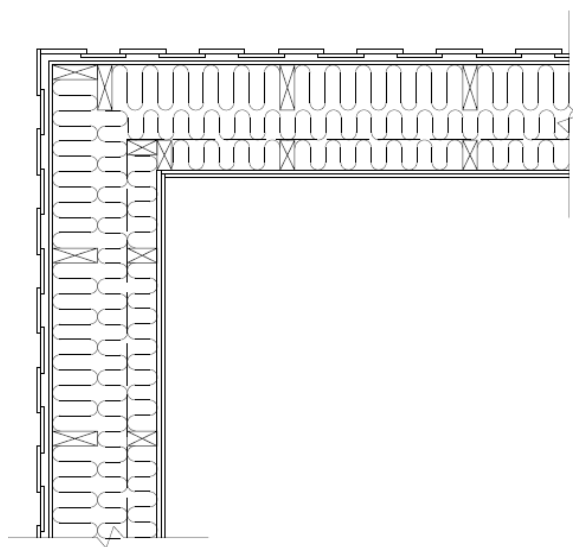
Med bakgrunn av dette tilfellet og det at vi har en godt isolert gulvkonstruksjon vil ikke kuldebrovirkningen i fundamentene inne i byggegroppen ha noe å si. Kuldebroene her vil være tilnærmet 0 W/mK.[49]

Figur 54 Vist effekt av varmelager

4.8.4 Hjørne

Som nevnt i definisjonen av kuldebro har vi to grunner til økt varmetap i konstruksjoner, materialbasert og geometrisk kuldebro. Hjørnet er et klart eksempel på geometrisk kuldebro, hvor arealet på utvendig- og innvendig overflate er ulikt. Dette gjør derfor at hjørneoverganger også er en aktuell tilslutning for beregning av normalisert kuldebroverdi.

For hjørner skiller vi mellom innadgående og utadgående hjørner der forskjellen er om det er utvendig eller innvendig side som får det største arealet. Et innadgående hjørne vil ha størst innvendig areal og motsatt. I dette skolebygget har vi 6 hjørner, hvor 4 av disse er utadgående med en 90° vinkel, en er utadgående med 120° vinkel og den siste er innadgående med 60° vinkel. Siden 5 av 6 hjørner er utadgående og vinklene har liten betydning, tar vi for oss detaljen med utadgående hjørne for å bestemme kuldebroverdien.



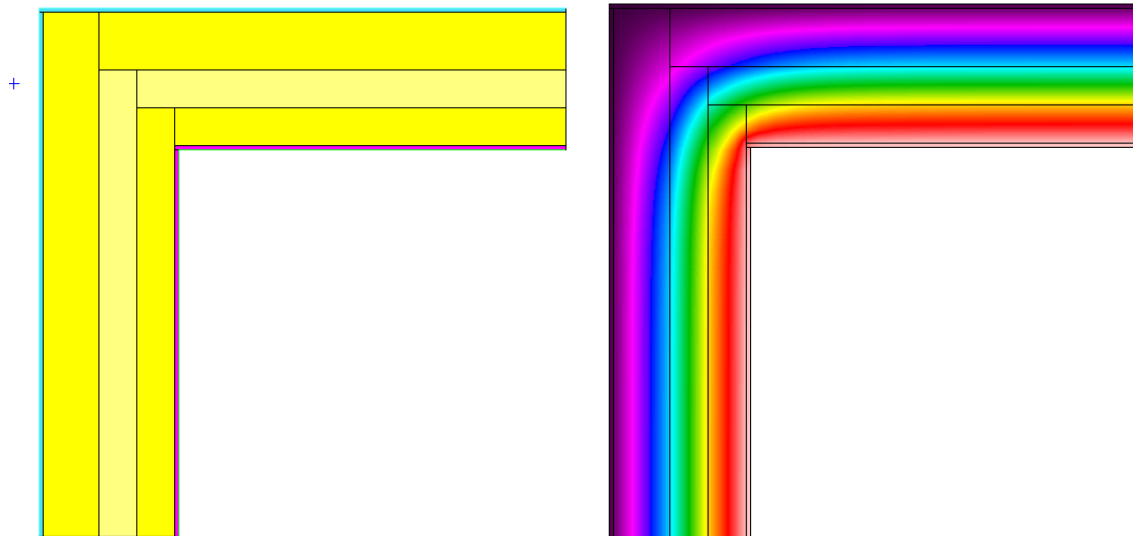
Figur 55 Valgt oppbygging av hjørne

vindsperre i vinkelen og klemme får vi en helt tett overgang. Det vil heller ikke være vanskelig å føre kontinuerlig dampsperre. Bortsett fra dette er konstruksjonen veldig lik en enkel yttervegg.

Modellen bygges enkelt opp av to vegger med gitt treandel på 15 %. Disse settes sammen slik som vist i detaljtegningen og det lages grenseverdier tilsvarende som for simuleringen av en enkel vegg. Det er her viktig å utføre simuleringen i forhold til det innvendige arealet. Ut ifra innvendige mål skal hver vegg være 1 meter og U-verdiene er 0,099 W/m²K.

Et hjørne består av overgangen mellom to yttervegger. Veggene har den samme oppbygningen og U-verdiene som er beregnet tidligere, men trenger et større antall stendere i vinkelen. Detaljen ved siden av er oppbyggingen av et utadgående hjørne med dobbelt bindingsverk. Ved å utføre tilslutningen på denne måten kan vi fortsette det kontinuerlige isolasjonssjiktet. Ved å utføre stenderverket på denne måten får vi ikke veldig stor økning av stendere, så den materialbaserte kuldebroeffekten vil være tilnærmet lik som ellers yttervegg.

I hjørner er det en stor fordel med dobbel vindsperre siden platene ikke gir den kontinuerlige tettheten. Ved å legge over et rullprodukt av



Figur 56 Modell og varmelagring hjørne THERM

Når vi så simulerer den totale overgangen vil de innvendige lengdene utgjøre 2 meter, og vi får en samlet U-verdi på $0,109 \text{ W/m}^2\text{K}$. Som vi ser av figurene ovenfor vil den valgte oppbyggingen føre til en jevn isolering om hjørnet. Det vil heller ikke her være problemer knyttet til brå temperaturoverganger som gir fukt på overflatene. Det skal ikke være mulig å kjenne kulden innerst i hjørnet.

For å bestemme kuldebroverdien for hjørnene må en i likhet med de øvrige konstruksjonene over bakkeplan finne varmetapet fra hver enkelt vegg og for den totale overgangen. Siden lengdene av veggene er 1 meter vil varmetapet tilsvare U-verdien. En trekker varmetapet fra veggene fra det totale varmetapet og finner kuldebroverdien. Utrekningen av dette er vist i tabellen nedenfor.

	U-verdi	Lengde	Varmetap
Totalt for hjørne	$0,109 \text{ W/m}^2\text{K}$	2,0 m	$0,218 \text{ W/mK}$
Vegg 1	$0,099 \text{ W/m}^2\text{K}$	1,0 m	$0,099 \text{ W/mK}$
Vegg 2	$0,099 \text{ W/m}^2\text{K}$	1,0 m	$0,099 \text{ W/mK}$
Kuldebroverdi Hjørne			$0,020 \text{ W/mK}$

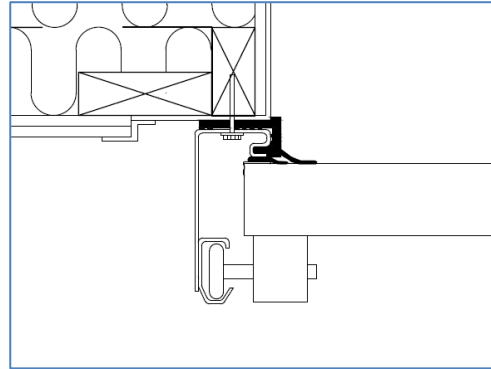
Tabell 26 Beregning kuldebroverdi hjørne

Hjørnenes bidrag i den normaliserte kuldebroverdien kommer av kuldebroverdien på $0,020 \text{ W/mK}$ multiplisert med lengden av overgangene. I tilfellet for hjørner regnes denne lengden vertikalt, altså høyden på hvert hjørne. Sammensettingen av dette er vist i kapittelet om normalisert kuldebro.

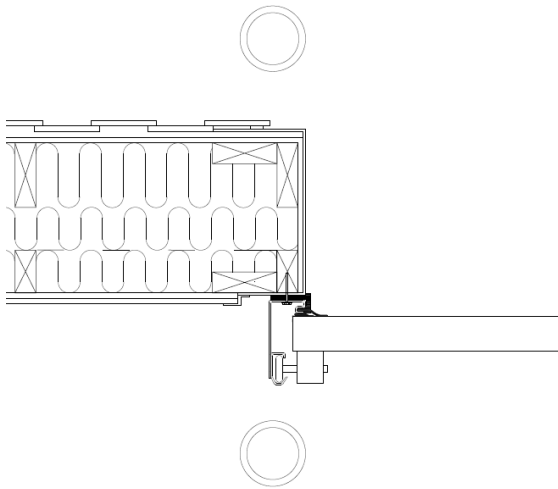
4.8.5 Port

Portene i verkstedet vil være en utfordring når det kommer til kuldebroverdier. I motsetning til dører og vinduer må portene monteres på innsiden av veggen. Det er ikke mulig å legge et kontinuerlig isolasjonssjikt rundt porten og man kan ikke tette slik som mellom dør-karm og karm-vegg.

Da vi ikke har noen eksempler på portinnsetting å sammenligne med vet vi ikke hvilken kuldebroverdi vi kan forvente. Vi har derfor ikke mulighet til å sammenligne vår løsning med en standard TEK-10 for å se om vår er bedre. Det er to fordeler med våre porter. Det første er den lave U-verdien på porten. Standard porter som benyttes for å holde på varmen i dag har en U-verdi rundt $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette er ikke godkjent i NS3701, da porter skal ha samme U-verdi som vindu og dør, altså $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. DPU-portene som vi har valgt har med sine $0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$, under halvparten av U-verdien til en standard port. Det andre som gjør at vi tror det er mulig å oppnå passivhusstandard med porter i bygget er at vi kan installere ThermoFrame på portene. Med ThermoFrame i porten får man dobbel tetting mellom port og vegg. Gummilisten som tetter er festet til veggen og har to "lepper". Dette gir dobbel tetting mot porten for at uteluften ikke skal kunne sige inn. Listen omslutter også stålet som bærer porten.



Figur 57 Innfesting port med ThermoFrame



Figur 58 Innsetting port

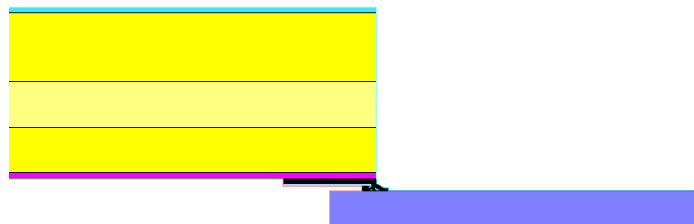
Da porten kan bæres av både tre og stål velger vi å feste den i trestenderen i veggen. For ekstra bæring setter vi inn dobbelt med stendere i enden på veggen. Enden av veggen tettes med vindsperrene og beskyttes med et beslag på utsiden. Porten festes som vis på tegningene. På begge sider av porten på både utside og innside skal det støpes kjegler. Disse skal beskytte vegg og portinnfesting mot eventuelle påkjørsler.

Under er et utsnitt av modellen fra THERM. Vi kan tydelig se hvorfor man kan forvente en høyere kuldebroverdi i denne tilslutningen. Selv med ThermoFrame er sjiktet som skiller uteluft og inneluft veldig lite. På modellen har vi kun tatt med

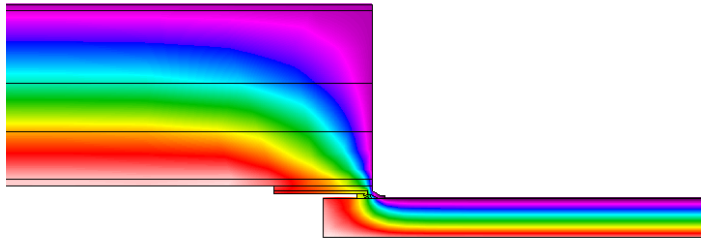
gummilistene og stålet som er i direkte kontakt med porten. Vi har også lagt inn de luftlommene som vil være naturlig mellom gummilistene.

Dette fordi det vil være så tett når porten er lukket at luften vil stå stille og den har en isolerende effekt.

Når vi kjører en simulering av modellen ser vi at det vil bli en stor varmeutveksling rundt ThermoFramen. Det positive er at porten likevel vil



Figur 59 Modell av port THERM



Figur 60 Varmegjennomgang port

holde godt på varmen på innsiden og i enden.

Varmetapet som oppstår mellom port og vegg gir $L_{2D} = 1,47 \text{ W/mK}$. Når vi trekker fra varmetapet for porten og vegg får vi en kuldebroverdi på $0,147 \text{ W/mK}$. Det at denne verdien er så høy kommer som av det er dårlig isolert mellom port og vegg. Når vi skal beregne

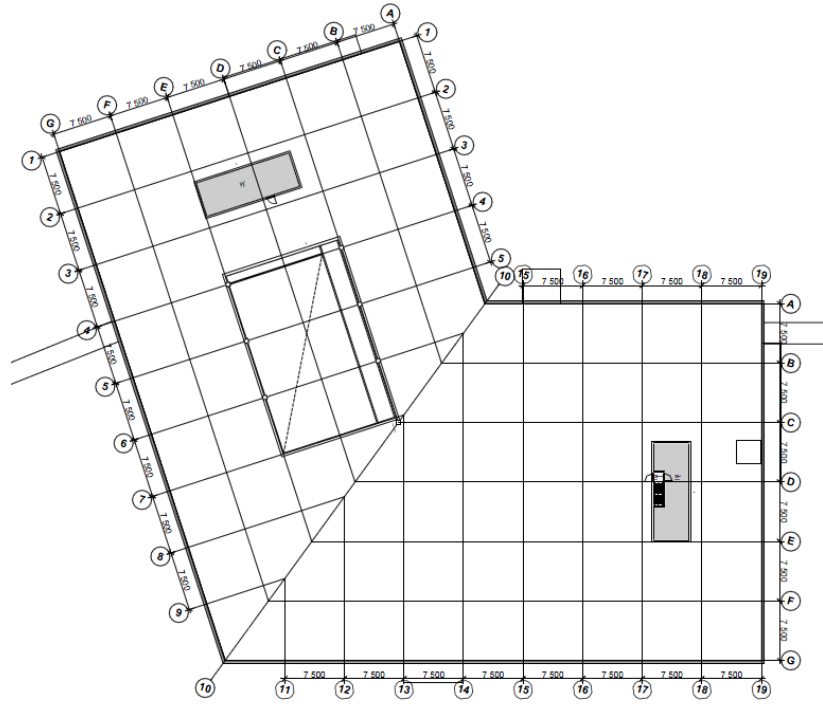
den normaliserte kuldebroverdien skal denne kuldebroverdien multipliseres med omkretsen av portåpningene som til sammen er 68m. Selv om verdien er høy er lengden av kuldebroen kort, sammenlignet med størrelsen på bygget. Dette gjør at kuldebroverdien ikke vil ha veldig stor innvirkning på den normaliserte kuldebroverdien.

	U-verdi	Lengde	Varmetap
Totalt for portinnsetting	$0,317 \text{ W/m}^2\text{K}$	4,64 m	$1,47 \text{ W/mK}$
Vegg	$0,099 \text{ W/m}^2\text{K}$	1,92 m	$0,190 \text{ W/mK}$
Port	$0,472 \text{ W/m}^2\text{K}$	2,40 m	$1,133 \text{ W/mK}$
Kuldebroverdi Hjørne			$0,147 \text{ W/mK}$

Tabell 27 Beregning av kuldebroverdi port

4.8.6 Takgjennomføring

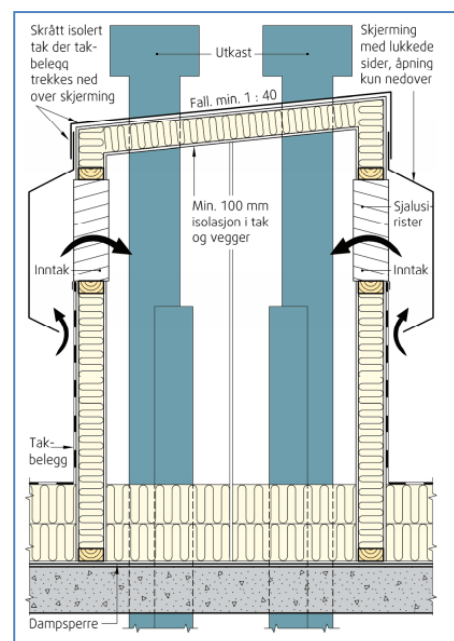
En av de mindre aktuelle formene for kuldebro kommer av ulike gjennomføringer gjennom klimaskjermene i tak og vegger. Det ble så vidt nevnt i vurderingen av tetting med vindsperrer at målet er å redusere antall gjennomføringer til det minimale. I et skolebygg vil det derfor være mulig å redusere aktuelle gjennomføringer og fokusere på de største gjennomføringene i taket.



Figur 61 Plantegning 4etg./tak

Ovenfor er det vist et utklipp av plantegningen av taketasjen. Etter forandringene som ble gjort i sommer er den fjerde etasjes gått ut men vi har fortsatt noen installasjoner som må være på taket. Figuren viser to tekniske rom på om lag 50 m², der det ene har trappeoppgang. Området på midten av taket er takoppbygget for auditoriumet nedenfor. For denne vurderingen er det viktig å ta hensyn til ventilasjonssystemets avtrekk/innløft som installeres på taket, og heissjakten som i figuren over synes helt mot høyre.

Vi skal først se på gjennomføringene til de tekniske rommene med ventilasjonssystemets inntrekk og utsug. Ved siden av er det vist en prinsippskisse av denne detaljen som kalles en samlelyre. En samlelyre vil være et innbygd og inntekket rom som gir skjerming til ventilasjonsgjennomføringene. Det skal skjermes mot inndrev av regn og snø. Det er innsug på sidene som er skjermet med rister og utkast på toppen. Rommet isoleres i ønsket tykkelse og takbelegget (tettingen) går kontinuerlig og klemmes ved åpninger. Taket på lyrene skal i likhet med taket ellers ha et minimum fall på 1:40. Det kan også installeres varmekabler rundt åpningene for

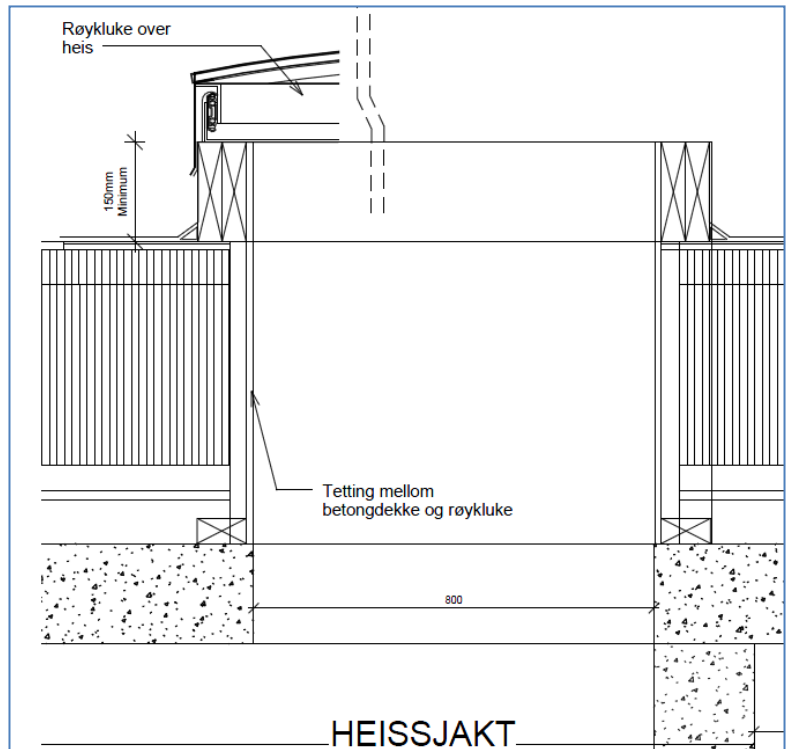


Figur 62 Detalj samlelyre på tak [NBI 544.204]

å forhindre at ventilasjonen blir tett.

Den neste detaljen vi ønsker å se nærmere på er toppen av heissjakten. Heissystemet kan løftes fra under, over eller fra siden. Hvordan heisen i Bodø vgs. skal drives vet vi ikke, men det er kan tolkes av tegningene at heisen ikke løftes fra siden. For gjennomføringene må taket uansett ha en luftluke for sjakten med hensyn til brann. Vi antar derfor at heisen ikke løftes fra taket og gjør en kort vurdering av gjennomføringene i overkanten av heissjakten.

En røykluke for en heis som tenkt i prosjektet behøver ikke være større enn rundt 1 m² og skal gi røykkontroll i rømningsveier. Rent byggtknisk er disse gjennomføringene kun et hull i hulldekket over en tett sjakt (branncelle). Over hullet installeres en tett røykluke ca 15 cm over taktekkingen. Røykluken kan bestå av alt i fra 2-lags til 9-lags polykarbonplater dekket med et lag av akryl. Disse har god varmelagring og bestandighet. Som for lyren vist ovenfor kan det legges ekstra isolasjon rundt gjennomføringen, og det vil være svært korte lengder av potensiell kuldebro. Detaljen ved siden av er utledet av Sweco.

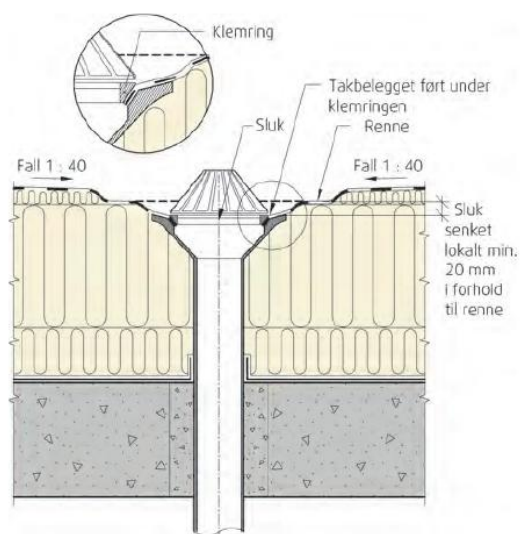


Figur 63 Gjennomføring over heissjakt [Sweco Bergen]

Den siste gjennomføringen vi ønsker å vurdere for denne oppgaven er

rørføringer. Ved bruk av flate tak må overvannet dreneres bort, og for Bodø vgs. skal dette gjøres ved sluker på taket med rør nedover i sjakter til det kommunale avløpssystemet. Disse rørene går fra

sluket ned i isolasjonen og gjennom hulldekket. Hullet som på grunn av dette vil ikke være stort, og det vil være mulig å isolere mellom røret og hulldekket eller ha ekstra isolasjon i undersiden av dekket. Det er viktig å huske å tette godt rundt dampsperran i tillegg til takbelegget.



Figur 64 Rørgjennomføring i tak [NBI 544.204]

Når det gjelder det planlagte takutstikket over auditoriet vil dette ha samme prinsipp som et etasjeskille. Her vil hulldekket stoppe (får et hull som skal være takutstikket), bæres av innvendige søyler, og det bygges bindingsverk over med isolasjon tilsvarende veggene i resten av bygget. Taket isoleres som vist i tilslutningen gesims.

For de fleste gjennomføringene i taket er det mulig å legge inn ekstra isolasjon for å minke varmegjennomgangen. Den totale kuldebroverdien for disse gjennomføringene vil være svært lav i forhold til de øvrige i bygget. Dette fordi lengdene av kuldebroene er små. Den normaliserte kuldebroverdien vil ikke bli veldig påvirket av dette tilskuddet. Vi velger å se bort fra kuldebroer som følge av takgjennomføringer ved beregning av normalisert kuldebroverdi. Dette fordi kuldebroverdiene er lave og vi ikke vet antall gjennomføringer i taket.[50][51]

4.9 Normalisert kuldebroverdi

Ved å ha gjort utredninger for ulike byggtekniske utfordringer i byggingen av et passivhus har vi utført det første trinnet i Kyotopyramiden. Trinn 1 sier "reducer varmetapet", noe som går direkte inn på passive tiltak som kan gjøres for å bedre konstruksjonen. I de tidligere avsnittene i dette kapittelet er det funnet U-verdier og kuldebroverdier ved de valgene vi har tatt. Kuldebroverdiene skal vi benytte her for å finne den normaliserte kuldebroverdien (Ψ'') for bygget.

For å få en god oversikt over denne beregningen har vi laget en tabell som viser de totale lengdene for hver utsatt tilslutning og kuldebrovirkningene på disse. Hver overgang får et kuldebrotap som summeres, for så å deles på det oppvarmede bruttoarealet som vist i punkt 2.4.3.

Overgangsdetalj	Lengde (m)	Antall (stk)	Total lengde (m)	Kuldebroverdi (W/mK)	Kuldebrotap (W/K)	Typiske verdier (W/mK)
Tak/langvegg	210	1	210	0,025	5,250	0,02-0,03
Tak/gavlvegg	40,5	2	80,1	0,025	2,003	-
Etg.skille/langvegg	210	1*	210	0,011	2,310	0,06-0,07
Etg.skille/gavlvegg	116	1*	116	0,011	1,276	-
Vegg/ringmur/gulv verksted	82,5	2	165	0,061	10,065	0,09
Vegg/ringmur/gulv skole	63	2	126	0,011	1,386	0,02-0,05
Hjørner	12,7	6	76,2	0,020	1,524	0,03
Vinduer	1 424	1**	1 424	0,007	9,968	0,02
Dører	6,2	7	43,4	0,010	0,434	0,02
Porter	17	4	68	0,147	9,996	ukjent
Glassfasader	175,1	1	175,1	0,032	5,603	ukjent
Samlet kuldebrotap (W/K)					49,698	99,906
Normalisert kuldebroverdi					0,0045	0,01

Tabell 28 Beregning normalisert kuldebroverdi

*Etasjeskillene er oppgitt som kun en lengde i tabellen på grunn av at de to sidene med langvegg ikke har lik lengde.

**For vinduene og glassfasadene er det regnet ut ca. lengde på vinduskarm ut ifra fasadetegninger og arealmål i Simien. Profiler og sprosler er ikke medregnet i lengdene av kuldebro.

$$\text{Formelen for normalisert kuldebroverdi, } \Psi'' = \frac{\sum_k \omega_k \times l_k + \sum_j X_j}{A_{fl}} = \frac{49,685 \text{ W/K}}{11009 \text{ m}^2} = 0,0045 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Som vi ser av tabellen kommer vi godt under kravet om 0,03 W/m²K, og har av den grunn valgt tilslutninger som bidrar til et redusert energiforbruk. Ser vi på lignende prosjekter av passivhus ligger ofte denne verdien på 0,01 W/m²K, så vi kommer godt innenfor standarden med tanke på byggtekniske detaljer. Noen overganger skiller seg ut, slik som yttervegg/ringmur/gulv i verkstedet, vinduer og porter. Når det gjelder gulvet mot yttervegg og ringmur i verkstedet kommer det høye kuldebrotapet av mangel på kuldebrobryter i randsonen. Siden gulvet skal bære store laster må det

armeres og støpes sammen med ringmuren. Portenes kuldebroverdi kommer av mangelen på isolasjon mellom inne og ute ved beslaget. Det kanskje mest overraskende er vinduene som hadde den laveste kuldebroverdien av alle. På grunn av antallet vindu får vi en total karm lengde på 1 424 m, og det er lengden som fører til at kuldebrotapet skiller seg ut.

I tabellen har vi også tatt med en rad med vanlige kuldebroverdier. Dette er verdier som er hentet fra NBI Byggetalblader og som passer for bruk i TEK-10 bygg. Som vi ser av resultatet av de typiske verdiene vil totalt kuldebrotap være 99,906 W/K. Dette er dobbelt så mye som våre løsninger, men vil på grunn av stort oppvarmet areal få en normalisert kuldebroverdi på om lag 0,01 W/m²K. Etter at vi nå har bestemt alle komponentene i bygget er alt klart for å kjøre en simulering for å finne ut energieffektiviteten av vårt nye bygg.

5 Resultat

Etter å ha forandret på en rekke tiltak skal vi sette sammen komponentene i bygget og få endelige resultater med tanke på priser og verdier i forhold til krav og energisparing som oppnås. Tiltakene som ble beskrevet i kapittel 4 skal derfor skrives inn i både Simien og rapporten til Enova. Vi deler resultatene inn i tre deler; prismessige resultat, en ny Simiensimulering for å kontrollere kravene i NS3701 og til slutt en fremstilling av potensiell strømsparing.

5.1 Økonomisk merkostnad

I kapittel 3 og 4 så vi på hvordan den planlagte oppbyggingen av Bodø vgs. er, og gjorde endringer/tiltak som skulle forbedre de forskjellige verdiene for å kunne oppnå passivhusstandard. Det store spørsmålet i forbindelse med utbedringene er hva merkostnaden vil være, og hvor mye denne ekstra kostnaden vil være i forhold til den totale prosjektkostnaden.

For å få en god oversikt over tiltakene som er gjort og for å kunne vise de enkelte merkostnadene på passivhusnivå, benytter vi rapporten "Utredning av passivhus" fra Enova. Den første delen av denne rapporten går ut på informasjon om prosjektet. Dette omhandler hvem som er i prosjektteamet, lokalisering av prosjektet og beskrivelse av konstruksjonen. Siden vi skal konsentrere oss om de byggtekniske utfordringene benytter vi tabellen i punkt 3.6 i rapporten, merkostnader på tiltaksnivå. Tabellen er tredelt og skiller mellom bygningsmessige tiltak, tekniske tiltak og planlegging/kvalitetssikring. Del en og to går på passive tiltak, mens den siste delen går på merkostnader som følge av mer arbeid og opplæring.

De byggtekniske forandringene vi har gjort i bygget er grunnlaget for merkostnadene. Omtrentlige priser har vi fått fra Sweco. Vi har beskrevet forandringene og fått et prisoverslag i forhold til den opprinnelige planen. Disse prisendringene er gitt i kr/m² og er et totalt tall for hele bygningsdelen. For veggen vil for eksempel ekstra isolasjon og stenderverk være sammensatt i samme pris. Priser på teknisk utstyr som varmegjenvinner og SFP-faktor er gitt av Sweco og de antagelsene de har gjort for VVS i bygget. Sweco har også bidratt med verdiene innenfor den tredje delen, planlegging og kvalitetssikring. Dette er priser de setter for ekstra arbeid og opplæring.

De siste prisene som da gjenstår er prisene på bygningsdelene vindu, dør, glassfasader og porter. Gjennom ulike leverandører har vi mottatt priser og merkostnader som følge av oppgradering til passivhusstandard. Beregningene av merkostnadene er vist i vedlegg I. Merkostnadsberegningene er vist i tabellen på neste side.

Komponent/ bygningssdel	Kostnad TEK kr/m ² , eks mva	Merkostnader passivhus (eks mva)	Mengde m ² , m ³ etc.	Kommentar tiltak
Bygningsmessige tiltak				
Yttervegg	<i>Ukjent</i>	800 000 kr	2 177 m ²	U-verdi: 0,180 - 0,099 W/m ² K.
Yttertak		1 200 000 kr	4603 m ²	U-verdi: - 0,102 W/m ² K.
Gulv (hoveddel) Gulv (verksted)		Ingen endring Ingen endring	4603 m ² m ²	U-verdi: 0,15 - 0,102 U-verdi: 0,15 - 0,124 W/m ² K.
Vinduer	8 663 kr/stk	(178 x 1 732 kr) 308 296 kr	178 stk.	U-verdi: 1,0 - 0,61 W/m ² K
Glassfasader	500 kr/m ²	(342,7x250 kr/m ²) 85 683 kr	342,7 m ²	U-verdi: 1,0 - 0,71 W/m ² K
Ytterdører	8 088 kr/stk	(7 x 2 862 kr) 20 034 kr	5 stk.	U-verdi: 1,0 - 0,66 W/m ² K
Porter	34 355 kr/stk	(4 x 35 954 kr) 143 816 kr	4 stk.	U-verdi: 1,0 - 0,48 W/m ² K
Kuldebroeliminerings		Tillegg er lagt inn under ekstra prosjektering		Norm. kuldebroverdi: 0,03 – 0,0045 W/m ² K Vurderte tiltak: Ekstra isolasjon grunnmur (ellers inkl i vegg, tak og gulv)
Tetthet		1 500 000 kr	2 177 m ²	Lekkasjetall: Vurderte tiltak: Dobbel vindspærre
Innvendig materialbruk		2 000 000 kr	11 009 m ²	Lavemitterende materialer for å redusere luftmengden fra 2,0 til 1,0 l/s pr. m ²
Tekniske tiltak				
Årsvirkningsgrad varmegjenvinner	<i>Ukjent</i>	400 000 kr	For anlegget	Økt virkningsgrad 75 % - 84 %.
SFP-faktor vent.anlegg		1 500 000 kr	For anlegget	Redusert SFP-faktor 2,0 - 1,5 kW/m ³ s.
Behovstyring (VAV)		1,0-1,5 mill kr	Nytt anlegg	Installere VAV med behovstyring.
Oppvarmingssystem		-	-	Som før, var ok.
Reduserte kostnader pga. forenklet oppv.system		-	-	Som før.
Kjølesystem		Ingen ekstra kostnad på installering	Er inkludert i vent.anlegget	Naturlig nattkjøling, kjører aggregatene nattestid.
Belysningssystem		-	-	Som før, var ok.
Lokal fornybar energi		(8 000 – 10 000 kr)	Pr. stk. m ² panel	Eventuelle solcellepanel.
Planlegging/kvalitetssikring				
Prosjektspesifikk opplæring		200 000 kr		Opplæring teknisk personell
Ekstra prosjektering		500 000 kr		Alle fagområder
Ekstra kvalitetssikring		250 000 kr		Prosjekteringskontroll + kontroll av utførelse
Evt. Andre tiltak				
Sum merkostnad		9 907 829 kr		

Tabell 29 Merkostnader på tiltaksnivå [Enova rapportmal]

Som vi ser av tabellen ovenfor er det ikke oppgitt kostnader i forhold til TEK. Dette kommer av at vi ikke har hatt tilgang til kalkulasjonene for det virkelige prosjektet. Den eneste prisen vi har å forholde oss til i forbindelse med tekniske installasjoner og bygningssdelene av det reelle prosjektet er den

totale prosjektkostnaden for nybygget. Når det gjelder vinduer, dører, glassfasader og porter er TEK-prisene pris på produktet når det tilfredsstiller kravene i TEK-10.

Tabellen på forrige side gir en total merkostnad på 9 907 829 kr ved å utføre Bodø vgs. som passivhus. Siden kontraktsummen for nybygget er 260 mill. kr utgjør den beregnede merkostnaden omtrent 4 % kostnadsøkning.

5.2 Resultat simulering

Nå som vi har valgt løsninger for både bygningskroppen og forandret på noen av de tekniske installasjonene skal vi kjøre en ny simulering med våre resultater. Resultatene fra simuleringen viser om vi oppnår passivhusstandard med våre løsninger og hvilket energibehov bygningen vil ha.

Tabellen under viser de punktene vi forandrer fra den opprinnelige filen og hvilke verdiene vi bruker.

	Verdi med vår løsning	Kommentar
U-verdi Vegg:	0,099 W/m ² K	
U-verdi Tak:	0,102 W/m ² K	
U-verdi Gulv (hoveddel): Gulv (verksted):	0,102 W/m ² K 0,124 W/m ² K	Gjennomsnittsverdi inn i Simien: 0,111 W/m ² K Gir ekvivalent U-verdi: 0,06 W/m ² K
U-verdi Vindu:	0,66 W/m ² K	Snittverdi for vindu og glassfasade
U-verdi Dør: Port:	0,6 W/m ² K 0,48 W/m ² K	For fasade sør og sørvest blir gjennomsnittlig U-verdi 0,49 lagt inn i Simien (3,37 % andel dør)
Normalisert Kuldebroverdi:	0,0045 W/mK	Runder opp til 0,01 W/mK da Simien runder ned til 0,00.
Lekkasjetall (N ₅₀)[1/h]:	0,6	
SFP faktor vifter:	1,5 kW/m ³ /s	
Temperaturvirkningsgrad:	84 %	
Nattkjøling Tilluft: Avtrekk:	16,0 m ³ /hm ² 16,0 m ³ /hm ²	
Gjennomsnittlig varmetilskudd:	5,1 W/m ² /år	Alle internlaste forandret fra verdi i NS3031 til nye verdier i NS3701

Tabell 30 Nye inndata i Simien

Etter å ha satt inn våre verdier evalueres de opp imot NS3701. De mest betydningsfulle tabellene fra denne evalueringen er lagt ved her, mens resultatet i sin helhet er vedlegg J.

Varmetapsbudsjett	
Beskrivelse	Verdi
Varmetapstall yttervegger	0,02
Varmetapstall tak	0,04
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,03
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,10
Varmetapstall kuldebroer	0,01
Varmetapstall infiltrasjon	0,07
Totalt varmetapstall	0,27
Krav varmetapstall	0,40

Figur 65 Resultat varmetapsbudsjett [Simien]

Energiytelse		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	18,8 kWh/m ²	23,2 kWh/m ²
Netto kjølebehov	0,3 kWh/m ²	1,6 kWh/m ²
Andel av varmebehovet som dekkes av annet enn direkte elektrisitet og fossile brensler	100,0 %	60,0 %
Gjennomsnittlig effektbehov belysning	4,0 W/m ²	4,5 W/m ²

Figur 66 Resultat energiytelse [Simien]

Minstekrav enkeltkomponenter		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	0,65	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0,01	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	84	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,50	1,50
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,60	0,60

Figur 67 Resultat minstekrav enkeltkomponenter [Simien]

Resultater av evalueringen	
Evaluering mot NS 3701	Beskrivelse
Varmetapsramme	Bygningen tilfredstiller kravet for varmetapstall
Energiytelse	Bygningen tilfredstiller krav til energiytelse
Minstekrav	Bygningen tilfredstiller minstekrav til enkeltkomponenter
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredstiller minstekrav gitt i NS3701 (tabell A.2)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredstiller alle krav til passivhus

Figur 68 Resultat av evaluering [Simien]

5.3 Strømsparing

Det mest spennende resultatet etter simulering er hvor mye energibehovet er redusert. For å vise et klart resultat lager vi en tabell med beregnet energibehov etter simuleringene i tillegg til å gi en pekepinn på de gjeldene kravene som avgjør om det er godkjent.

Oversikt netto energibehov og netto oppvarmingsbehov (kWh/m²).		
	Simulering av reell prosjektering.	Simulering etter utførte passivhustiltak.
Netto oppvarmingsbehov:	41,1	18,8
Totalt netto energibehov:	104,9	61,9
Gjeldene krav:	120 (tot. energibehov, TEK-10)	23,2 (oppvarmingsbehov, NS3701 og punkt 2.2.1)

Tabell 31 Resultat energibehovforandring

Ved å gjennomføre passivhustiltakene reduserer vi det totale energibehovet med 43 kWh/m². Det er nesten halvert energibehov. Med tanke på strømsparing er det ønskelig å se dette i form av pris, noe som indikerer lønnsomheten av den nye utførelsen. Hvordan strømprisen kommer til å være i tiden fremover er uvisst. Ved å gjøre to vurderinger i forhold til eventuell strømpris får vi et estimert resultat av strømsparingen fremover.

Valgte strømpriser er 80 øre/kWh og 110 øre/kWh, denne kan også bli dyrere, men tar ikke med dette i disse resultatene. Tabellen nedenfor viser prisdifferansen av de to simuleringene i forhold til strømprisen. Prisene er beregnet i forhold til et bruksareal på 11 009 m².

Strømpris:	Beløp spart for energibehov:	
80 øre/kWh	37 870 960 øre/år	378 709,6 kr/år
110 øre/kWh	52 072 570 øre/år	520 725,7 kr/år

Tabell 32 Resultat beløp spart for energibehov

Tabellen viser at ved å utføre tiltakene som er valgt i oppgaven reduseres energiutgiftene i året med 400 000 - 500 000 kroner ved eventuelle strømpriser.

6 Diskusjon

Utgangspunktet for vår vurdering er om våre resultater tilfredstiller passivhusstandarden. Med et positivt resultat vet vi at det er mulig å bygge Bodø vgs. slik som den er tenkt arkitektonisk, med våre valg av ytterkonstruksjoner, tilslutninger og forbedrede tekniske løsninger. Videre skal vi vurdere om dette er økonomisk gjennomførbart. Både merkostnad, støtte og nedbetalingstid er viktige faktorer. Ved å benytte Enovas investeringskalkulator ser vi byggets nåverdi og hvor lang tid det vil ta å betale ned merkostnadene både med og uten støtte.

6.1 Vurdering av resultat

Resultatet i kapittel 5.2 viser at bygningen tilfredsstiller alle kravene til passivhusstandarden for yrkesbygg. Nye Bodø vgs. kan derfor bygges som passivhus med de valgene og utførelsene vi har gjort. De viktigste punktene våre valg har forbedret er varmetapet, energiytelsen og minstekravet til enkeltkomponenter. Alle enkeltkomponentene er godkjent. Det er ikke lenger krav til U-verdi for vegg, tak og gulv, men disse har betydning for både varmetap og energibehov. Det totale varmetapstallet i bygget vil nå bli $0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette er $0,13$ bedre enn kravet for passivhus. For oppvarmingsbehovet er vi også godt under kravet med $18,8 \text{ kWh/m}^2\text{år}$. Netto energibehov blir på $61,9 \text{ kWh/m}^2\text{år}$, noe som er halvert i forhold til kravene i TEK-10.

De bygningskomponentene som ved oppstarten kunne virke som de største utfordringene for å sertifisere Bodø vgs. som passivhus, viste seg ikke å være noe problem. Både glassfasader og porter finnes som nye spesialprodukter med gode U-verdier. Kravet til vindu og dørareal på maksimalt 20 % er tilfredsstillt (har fremdeles et glass og dørareal på 15,2 %) og de planlagte fasadene er stort sett uendret. Vi trenger dermed ikke å redusere antall vinduer og dører for å oppnå passivhusstandard.

Av de kravene som er oppfylt er det noen punkter som kan være ekstra interessante å vurdere nærmere. Fra tidligere i oppgaven har det vært fokusert på blant annet lekkasjetall, om bygget og simuleringene eventuelt bør deles i to soner og at utførelsene skal være enkle på byggeplassen.

6.1.1 Tetthet

Lekkasjetallet viser tettheten av bygget. I oversikten i kapittel 5.2 viser at kravet for lekkasjetall er oppfylt. Denne verdien settes direkte inn i Simien uten å bli påvirket av de øvrige resultatene. Lekkasjetallet skal fastsettes ved trykktester ("Blower-door") både når bæresystem og vindtetting er montert og ved ferdigstillelse. Resultatet av dette vil vise seg ved test. Vi vet at vi har gjort tiltak som skal bedre tettheten og forhåpentligvis tilfredsstille kravet.

Vi har valgt å benytte dobbel vindsperre og nye tetteprodukter som tape, plastmansjetter og fugebånd. Det er og ønskelig å få vinduer med ferdig montert vindsperrelemse som enkelt kan klemmes med rullproduktet rundt. Et minimalt lekkasjetall skal derfor være mulig.

Faktoren som fører til størst utfordring for tettheten er portene i verkstedet. Ved å benytte DPU porter med luftgjennomstrømning på $6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ og med ThermoFrame i overgangene vil luftlekkasjen komme på $0,008 \text{ h}^{-1}$. Portene øker derfor kravet til resten av konstruksjonen til å oppnå et lekkasjetall på $0,592 \text{ h}^{-1}$. Dette utgjør veldig lite av lekkasjen og vi kan derfor se at portene ikke utgjør noen problem for tettheten så lenge resten av tettingen i konstruksjonen er godt utført.

6.1.2 Soneinndeling av flerbruksbygg

Siden kravene i passivhusstandarden ble oppfylt ved å beregne som en sone vil det ikke være nødvendig å dele opp bygget i flere soner. Hadde de ikke blitt godkjent hadde det vært tre mulige alternativer.

Ved å dele bygget i en skoledel og en verksteddel kunne man oppnådd passivhusstandard da kravene til verksted ikke er like strenge som for skole. For å bygge et verksted som passivhus er kravet til oppvarmingsbehov 28,4 kWh/m²år, mens for skoledelen er det 23,2 kWh/m²år. Dersom det ikke hadde gått med en sone kunne derfor kravene likevel blitt oppfylt med to.

Dersom verkstedet ikke hadde oppfylt kravene i passivhusstandarden hadde det vært naturlig å vurdere om man kunne bygge verkstedet etter lavenergistandarden. Da hadde man søkt støtte for skoledelen som passivhus og verkstedet som lavenergibygg.

Det siste alternativet hadde vært å kun bygge skoledelen som passivhus. Dette hadde vært et alternativ dersom verkstedet ikke hadde blitt sertifisert som lavenergihus. Da hadde det vært mulig å søkt støtte kun for skoledelen.

6.1.3 Utførelse

Vi har valgt oppbygging av vegg, tak og gulv som er basert på kjente byggemåter. Selv om det å bygge med dobbelt stenderverk ikke har vært så vanlig til nå er det ikke mer utfordrende enn å bygge med gjennomgående stendere. Tilslutningene er også standard oppbygginger som er forbedret med mer isolasjon. Dette gjør at utførelse på byggeplass ikke vil by på utfordringer.

Et passivhus har en veldig tett bygningskropp med mye isolasjon og det er viktig at det ikke er fukt inne i bygget når det tettes. Det bør derfor vurderes å bygge under WPS. WPS (Weather Protection Systems) er et midlertidig teltsystem som gjør at man unngår nedfukting i byggeperioden og gir god kvalitetssikring under byggingen.

6.2 Økonomisk vurdering

6.2.1 Støtte fra Enova

Siden bygget oppnår passivhusstandard kan det søkes støtte fra Enova. Summen man kan få er opptil 60 % av merkostnaden, begrenset oppad til 350 kr/m². Med en merkostnad på nesten 10 000 000 kr beregnes støtten ut fra byggets BRA. Byggets BRA på 11 009 m² multipliseres med satsen fra Enova og gir støttegrunnlag på 3 853 150 kr. For spesialrådgivning regner vi med en støtte på 40 000 kr.

6.2.2 Investeringskalkulator

For å finne nåverdi og nedbetalingstid benyttes Enovas investeringskalkulator. I kalkulatoren setter man inn investering, inntjening, utgifter og støttebehovet. De nøkkeltallene man da får vil være en pekepinn på om det er økonomisk å gjennomføre det valgte prosjektet som passivhus. Tabellen under viser de grunndata vi benytter i kalkulatoren. Kalkulatoren i sin helhet er vist i vedlegg K.

Inndata i investeringskalkulatoren		
Refaranseinvestering	260 000 000 kr	Prosjektets kontraktsum, fordelt på 3 byggeår.
Merinvestering	9 907 829 kr	Vår merkostnad, fordelt på 3 byggeår.
Årlig redusert energikostnad	520 726 kr	Med en strømpris på 110 øre/kWh. Fra første bruksår.
Årlig drift og vedlikeholdskostnader	15 000 kr	Dette er et synsetall fra vår side, da vi ikke har noe sikkert tall å bruke. Fra første bruksår.
Støttebehov	3 893 150 kr	Beregnet støtte fra Enova.

Tabell 33 Inndata i investeringskalkulatoren

Nøkkeltall	
Internrente med Enovastøtte	5,9 %
Internrente uten Enovastøtte	1,5 %
Netto nåverdi med Enovastøtte	kr -1 054 922
Netto nåverdi uten Enovastøtte	kr -4 692 582
Inntjeningstid med Enovastøtte	Ikke inntjent
Inntjeningstid uten Enovastøtte	Ikke inntjent
Energieresultat (kWh/støttekrone)	0,12

Figur 69 Nøkkeltall fra investeringskalkulatoren [Enova.no]

Dette gir oss en netto nåverdi på -1 054 922 kr med støtte fra Enova. Den sier også at man ikke vil få inntjent merkostnadene. Dette virker ikke helt positivt for den økonomiske delen av prosjektet. Vi har ikke kjennskap til den reelle renten som kommer på merkostnadene, noe som kan virke inn på lønnsomheten.

Inntjeningstiden finner man ved formelen:

$$B \times \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} - I_0 = 0$$

B = Årlig netto besparelse (505 726 kr)

r = Kalkulasjonsrente (0,04)

n = Inntjeningstid

I₀ = Investering (6 014 679 kr)

Med en kalkulasjonsrente på 4 % gir dette en inntjeningstid på 16,5 år medregnet støtte fra Enova. Det som kan være grunnen til at denne nedbetalingstiden ikke oppgis i investeringskalkulatoren er at denne formelen ikke tar hensyn til at levetiden til det tekniske anlegget er 15 år. Dersom deler av anlegget må skiftes ut etter 15 år vil dette gi en ny investering.

6.2.3 Vurdering

Vår økonomiske vurdering er gjort på bakgrunn av de opplysningene vi fikk innledningsvis til oppgaven og fordi denne ikke fikk positive nøkkeltall ønsket vi å foreta en ny beregning med oppdatert informasjon.

Det har nå blitt bestemt at prosjektet skal utføres med VAV-behovstyring uavhengig om det blir passivt eller ikke. Dette betyr at VAV ikke vil være en merkostnad for passivhus. Vi har regnet med en merkostnad på 1 000 000 kr for dette anlegget, men tar vi bort det vil vi nå ha en merkostnad på

8 907 829 kr. Dette vil ikke utgjøre en forandring i støtten fra Enova. Videre har vi beregnet at det opprinnelige bygget vil ha et totalt netto energibehov på 104,9 kWh/m², mens de senere beregningene viser at tallet her vil være 110 kWh/m². Dette gir en større årlig innsparing, noe som vil gjøre et positivt utslag for prosjektet. Ved å beregne med investeringskalkulatoren på nytt med disse

Nøkkeltall	
Internrente med Enovastøtte	9,0 %
Internrente uten Enovastøtte	2,5 %
Netto nåverdi med Enovastøtte	kr 436 948
Netto nåverdi uten Enovastøtte	kr -4 135 087
Inntjeningstid med Enovastøtte	21,1
Inntjeningstid uten Enovastøtte	Ikke inntjent
Energieresultat (kWh/støttekrone)	0,10

Figur 70 Nye nøkkeltall fra investeringskalkulatoren [enova.no]

beregnet vil det være en viss feilmargin på, da tallene vi har fått oppgitt ikke stemmer 100 % med de løsningene vi har valgt. Som vi ser vil også den merkostnaden som vi har oppgitt på VAV-behovstyring spille en stor rolle for det økonomiske resultatet. Årlig redusert energikostnad kan også være en feilfaktor. Dette på grunn av vi her har benyttet en strømpris på 110 øre/kWh. Strømprisen i årene fremover er vanskelig å fastslå men 110 øre/kWh vil være en gjennomsnittlig verdi. Dersom strømprisen blir lavere enn anslått vil investeringen av passivhus bli mindre lønnsomt, mens en høyere strømpris øker lønnsomheten. For årlig drift og vedlikeholdskostnader har vi ikke fått oppgitt de reelle tallene for bygget, men brukt et ca. tall. Denne kostnaden vil kanskje være noe større.

Det vil være umulig å komme med et helt konkret resultat når vi ikke har de nøyaktige tallene, men denne vurderingen viser at det lønner seg å bygge etter passivhusstandarden.

6.3 Holdninger til passivhus

Selv om vi kan se fra de tidligere kapitlene at det absolutt er mulig å bygge etter passivhusstandarden er det ennå ikke alle som er like interessert i oppgraderingen. De ulike synene på passivhus er akkurat det som har ført til debattene om når myndighetene skal sette kravet om at alle bygg som settes opp skal være i henhold til passivhusstandarden. Det er mange ulike syn på dette og det ligger flere faktorer bak som påvirker det til dels negative synet på passivhus. I bunn og grunn er det byggherren som bestemmer hvilket energikrav bygget skal ha. Så vi vil i dette avsnittet se på hvilken grunner det er til at byggherrer føler skepsis til utførelse av passivhus og hvordan dette eventuelt kan forbedres i fremtiden.

6.3.1 Faktorer som påvirker synet til passivhusprosjekter

Når vi nå ser på de underliggende faktorene til at personer er usikre på passivhus fokuserer vi i hovedsak på byggherrens meninger. I både resultatet og i de tidligere vurderingene i denne oppgaven er det fokusert en del på økonomien i prosjektet. Dette kommer av at prisen på passivhusprosjekter er høyere enn om en utfører i TEK-10 standard, og de ekstra kostnadene er

dataene får vi nøkkeltallene vist her. Da får vi en netto nåverdi med støtte på 436 948 kr og en inntjeningstid på 21,1 år. Dette viser at med disse beregningene vil det være lønnsomt å bygge skolen som passivhus.

Siden disse beregningene er gjort etter ny informasjon vil det likevel ikke stemme helt for vårt prosjekt men de viser at det kan være lønnsomt selv om det i første omgang ikke ser slik ut.

Noen faktorer som kan gjøre at den første beregningen ble negativ er de ulike inndataene. Den merkostnaden som er

vanskelig å godta uten å ha en klar nedbetalingsplan og spart energibruk som viser fremtidens fortinn ved å bygge energieffektivt.

Den første faktoren er derfor ikke overraskende økonomi. Dette begrunnes med at det er usikkerhet fra byggherrens og investorens side om lønnsomhetskalkylen vil stemme. Bakgrunnen for dette kan være usikkerhet om den beregnede energibesparelsen vil være like stor som planlagt, og at driften og vedlikeholdet av nye tekniske løsninger vil føre til løpende merkostnader. Selv om det i prosjekter av nybygg gjøres energisimuleringer og beregninger av energisparing er oppfatningen at det kan ligge en risiko for å måtte betale mer ved fremtidige problemer (både i de tekniske anleggene og ved skader i byggekroppen som fører til store reparasjoner).

Finansiering og mangel på kapital for merkostnadene kan og være et økonomisk hinder. Selv om Enova, gjennom staten, skal bidra med tilskuddsordninger for å redusere merkostnaden gjelder dette punktet i hovedsak låneinstitusjonenes vurdering av passivhus. Bankene tar ikke hensyn til byggets verdiøkning eller lånetakerens økte nedbetalingsevne ved at energikostnadene reduseres.

Som et siste punkt som begrunnes med økonomi kommer også frykten for kostnadsoverskridelse og forsinkelser i byggingen. En mer komplisert oppbygging og et krav om en tilnærmet perfekt utføring øker risikoen for forsinkelser av byggeprosessen. Dette kommer av at passivhusprosjekter kan høres vanskelige og kompliserte ut og at risikoen for feil i utførelsen er stor.

Med en komplisert byggeprosess vil kravene til kompetanse hos de forskjellige aktørene øke. Dette gjelder fra arkitekt til håndverker. For arkitekter og rådgivende ingeniører er det å være "på den sikre siden" til nå det største problemet. Det vil være tryggere å gå for en løsning man er kjent med, og derfor holde litt igjen på eksperimenteringen rundt passivhus. For de som utfører arbeidet på byggeplassen vil det alltid komme nye bygningsmaterialer og nye måter å løse detaljer på, noe som kan medføre mangel på kompetanse.

Fra både prosjekterende og byggherre er det stor tvil om det ennå er tilstrekkelig tilgang til materialet som trengs for å kunne bygge passivhus. Et tydelig eksempel på dette er garasje- og industriporter. For å få tak i de nyeste spesialproduktene må man ofte søke utenom Norge, og risikoen for økt byggekostnad vil av den grunn øke.

Med de faktorene som er nevnt til nå, vil nok oppslagene i media være en av de viktigste faktorene. Etter flere oppslag om passivhus som fører til problemer med fukt og muggdannelse og ikke minst redusert komfort med tanke på inneluften, er det ikke rart at enkeltpersoner kan sette spørsmålsteget ved byggemåtene. Helt tette bygg og supergod isolering fører naturlig nok til at slike nyheter høres fornuftige ut. Fra 1. juli 2010 ble det påbudt å energimerke boliger og leiligheter som skal selges eller leies ut. På grunn av dette har alle blitt kjent med energimerkeordningen, og fokuserer gjerne heller på å få et bygg med høyt energimerke enn å etterspørre en energieffektiv byggteknisk standard (som passivhus).

Alt dette kan virke i overkant negativt, men som nevnt innledningsvis i oppgaven er utviklingen kommet langt til tross for en liten skepsis om når passivhuskrav kan iverksettes. Kompetansenivået hos aktørene i byggeprosessen er mye høyere enn det kan virke som og antall passivhusprosjekt er økende. Tilbakemeldingene i etterkant av passivhusprosjekter er positive, noe som fører til økt interesse ettersom man ser lønnsomheten.[13][52]

6.3.2 Fordeler

Det at mange har et litt negativt syn på passivhus begrunnes som nevnt mye i det økonomiske aspektet ved det; Hvor mye mer vil det koste? Kommer tidsrammen til å sprekke? Er det uforutsette utgifter knyttet til drift? Med alle disse spørsmålene er det forståelig at folk stiller seg litt skeptisk. Mennesker er ofte av natur skeptiske til det ukjente, samtidig som dette er en bransje hvor økonomi spiller en stor rolle. Derfor vil vi belyse noen av de mange fordelene ved å bygge passivt og hvordan man kan dra nytte av disse.

Noen kjente fordeler ved et passivhus er at det er mer miljøvennlig, har et komfortabelt inneklima, bedre luftkvalitet, mindre støy og har lavere driftskostnader. Foruten lavere driftskostnader dekker ikke dette de økte merkostnadene, men disse fordelene gir en ringvirkning.[53][54]

Verdiøkning

Passivhus vil trolig bli svært ettertraktet på fremtidens boligmarked. Dette fordi dagens energipriser mest sannsynlig vil øke og det kan oppstå en usikker energisituasjon. På dette grunnlaget vil den ekstra investeringen lønne seg dersom man en gang skal selge.

Energisikkerhet

Et passivhus har et lavt energiforbruk og holder godt på varmen. Dette gjør at virkningene av en eventuell energikrise eller høye strømpriser i kortere perioder ikke har den samme effekten som i et vanlig bygg. Dersom man mister strømmen i en periode vil det ta mange flere dager før temperaturen i et passivhus når et kritisk nivå for de som oppholder seg der. Derfor kan man benytte et passivhus i et lengre tidsperspektiv om en slik situasjon skulle oppstå.

Økt etterspørsel

Flere og flere kjenner til passivhusbegrepet og hva det står for uten at det er oppført så mange enda. Dette fører til økt etterspørsel etter slike bygg. Bygger man for eksempel et kontorbygg etter passivhusstandarden vil dette gi en merkostnad, men i tillegg til innsparingen på drift og støtte fra Enova sitter man med et bygg som er mer attraktivt. Dette fører igjen til at når flere ønsker å jobbe i gode lokaler vil man ikke ha problemer med å leie ut. Man kan få inntekt for utleie allerede i første måned og det er lettere å få riktig pris. Dette gjør at man ikke trenger å bekymre seg for kostnader av å ha et bygg hvor man ikke har fått leid ut mer enn halvparten.

Attraktiv arbeidsplass

En arbeidsplass i et bygg med passivhusstandard er attraktiv. Et godt innemiljø og en god termisk komfort gir økt produktivitet og bedre konsentrasjon både for ansatte og studenter. Dette er gunstig med tanke på at en arbeidsgiver vil ønske å leie et slikt lokale. Er det en bedrift som bygger for eget bruk vil det gi økt fortjeneste ved økt produktivitet.

6.3.3 Grønn sertifisering

Som vi ser er det mange fordeler ved å bygge passivt i tillegg til det økonomiske. Dersom man ønsker kan man også søke om grønn sertifisering. Det er flere grunner til at miljøsertifisering er fordelaktig. En av dem er at det er internasjonalt kjent. Dette gjør at bygget blir mer attraktivt for utenlandske kjøpere/leietakere, som ikke nødvendigvis kjenner til den norske passivhusstandarden.



Figur 71 Grønn sertifisering [no.mth.com/]

Videre vil bygget få økt verdi og økt

etterspørsel. Lengre levetid og lavere

driftskostnader er også fordeler som kommer ved å bygge etter grønn sertifisering, dette fordi man bevisst velger byggematerialer som har lang levetid og en bygningskropp som holder på varmen. For de som jobber i bygget vil sertifiseringen også gi en økt miljøbevissthet og et godt inneklima, noe som igjen fører til økt produktivitet. Ved å bygge passivt er man allerede ett skritt nærmere å oppnå en veldig god sertifisering til noen av verdens ledende organisasjoner på grønn bygging. De mest anerkjente i dag er LEED, BREEAM og The Green Building Programme.[55]

LEED står for Leadership in Energy and Environmental Design og gir en tredjeparts bedømming av grønne bygg. Det er utviklet i USA av US Green Building Council (USGBC) og ble lansert i 1998. Til nå har det blitt etablert prosjekter i 135 land. LEED er utviklet av bransjen selv, med både arkitekter, eiendomsmeglere, bygningseiere, jurister og representanter fra industrien med på laget. Hos LEED kan man sertifisere individuelle boliger og bygg, men også hele nabolag sett under ett. Her vurderes både energibruk, plassering, vannforbruk, materialvalg, inneklima, ledelse, avfall og flere andre parametre. Dette gjør at man fokuserer på hele byggets levetid, og ikke kun på prosjektering og bygging. LEED sertifiserer etter et poengsystem som viser bærekraftigheten til bygget. Ettersom hvor mange poeng som oppnås finnes det fire sertifiseringsgrader fra «certified» til «platinum».[56][57][58]

BREEAM er en sertifiseringsorganisasjon på samme måte som LEED, men er utviklet i Storbritannia og ble lansert i 1990. Den største forskjellen på de to er at LEED sertifiserer ut ifra amerikanske standarder mens BREEAM er tilpasset europeiske forhold og tar utgangspunkt i landets egne standarder. I Norge ble Norwegian Green Building Council (NGBC) etablert i 2010 for å drive BREEAM-Nor med lisens fra BRE Global. De jobber med å kunne tilby en norsk versjon av BREEAM. Det at hvert enkelt land får sertifisering etter sin standard gjør at det ikke vil være like enkelt å sammenligne de sertifiserte byggene internasjonalt. BREEAM har et poengsystem med fem klassifiseringer som går fra «pass» til «outstanding». Disse får du ut fra hvor stor prosentandel som er oppnådd innenfor de ulike temaene; forurensing, vann, energi, materialer, ledelse, sunnhet, trivsel, transport, avfall, arealforbruk og økologi. Dette gir en helhetlig vurdering av byggets bærekraftighet og kan benyttes både på eksisterende bygninger og nybygg.[59][60][61]

The Green Building Program (GBP) ble lansert av EU-kommisjonen i 2005. Dette er et program som ønsker å forbedre energieffektiviteten i næringsbygg i Europa på frivillig basis. Dette programmet tar for seg både nybygg og eksisterende bygninger, men gis kun til næringsbygg. GreenBuilding-sertifiseringen setter krav til at totalt energiforbruk skal reduseres med 25 %, sammenlignet med det

kravet standarden i landet har. Forskjellen på GBP og LEED/BREEAM er at det er EU-støttet, og selve sertifiseringen vil derfor ikke koste noe.[62][63]

6.3.4 Pilotbygg og FutureBuilt

I og med at bygg kan sertifiseres og få en status som energieffektivt øker også interessen for de som prosjekterer og planlegger byggene. Miljøvennlige og energibesparende bygg kan på den måten også fremheves som signalbygg eller referansebygg for fremtidige prosjekter. Eksempler på dette er forbildeprosjekter/pilotbygg i Lavenergiprogrammet og FutureBuilt.

Lavenergiprogrammet er et resultat fra samarbeidet mellom statlige etater og byggenæringen. Samarbeidet er med blant annet Byggenæringens Landsforening, Arkitektbedriftene, Husbanken, Enova og Statsbygg. Målet for programmet er å heve kunnskapsnivået i hele byggenæringen frem mot passivhus i 2017, og skal på den måten bidra til å gjøre norsk byggenæring ledende i Europa med tanke på energieffektive bygg. Dette arbeidet gjøres på to måter, hvor den første er generell kompetanseheving av alle aktørene i byggebransjen. Dette går derfor direkte inn på den ene faktoren som ble nevnt ovenfor som kan bidra til usikkerheten rundt passivhusbygging.

Den andre måten Lavenergiprogrammet benytter for å øke interessen er å danne forbildeprosjekter som skal reklamere for energieffektive bygg. I tillegg til å bidra i planleggingsfasen vil også de ferdige produktene være pilotbygg for at fremtidige prosjekter også kan vurderes som passivhus. Både Marienlyst skole og Åsveien skole som er nevnt tidligere i oppgaven er forbildeprosjekter hos Lavenergiprogrammet.

Også FutureBuilt er et lignende program som fokuserer på Oslo, Drammen og Bærumsområdet. I tillegg til flere av de nevnte aktørene ovenfor er også kommunene inkludert i samarbeidet. Målet er å realisere 50 forbildeprosjekter som alle skal ha et redusert energiforbruk og klimagassutslipp på 50 % av normale bygg. Programmet kjører arkitektkonkurranser som skal føre til økt interesse for arkitekter.[64][65]

6.4 Arkitektonisk utforming

Etter å ha gjort en byggteknisk vurdering av passivhuskonseptet kan det være interresant å se på arkitektoniske utforminger. Det er vanlig å tenke på passivhus som bygninger med en kompakt bygningskropp. Noe mange forbinder med et enkelt firkantet bygg. I flere av passivhusprosjektene som er gjennomført i Norge har resultatet vært slike bygg med lav glassandel. Men det har vist seg at det ikke trenger å være slik.

Siden kompetansen innenfor feltet har økt og vi har fått et bredere utvalg av materialer som reduserer varmetap har det blitt mulig å gjøre det



Figur 72 Vennesla bibliotek [husbanken.no]

firkantede passivhuset om til arkitektoniske kjennemerker. Et eksempel på spennende arkitektur i et passivhus er vinneren av Byggeskikkprisen 2012, Vennesla bibliotek. Dette bygget er utført i henhold til Prosjektrapport 42 og er sertifisert som passivhus til tross for arkitektur ut over det vanlige.

Vi ønsker i dette kapitlet å vurdere noen arkitektoniske elementer som har betydning for passivhus. Det vi ønsker å se nærmere på er hvordan man kan gjøre små endringer i bygningskroppen for å forandre en kube til et mer gjenkjennelig bygg, uten at det går utover det byggtekniske. Vi vil også vurdere om det er mulig å bruke like mye glass i fasader som det har vært gjort de siste årene. Til slutt vil vi se på bruk av solcellepanel. Hvordan forandre det vi mener har vært sjenerende fremmedelement på fasader til å bli godt integrerte bygningsdeler.

6.4.1 Utforming av byggekropp

Som nevnt tenker nok mange på firkantede kompakte bygg når man hører om passivhus. Det har blitt bygget en god del passivhus som følger en enkel linje for hvordan utformingen bør være, og dette har ført til kompakte bygninger. Ved å gjøre energiberegninger og vurdere oppbygging av detaljer vil det absolutt være mulig å gjøre spreke forandringer på bygningskroppen og fortsatt tilfredsstillende passivhus.

Selv om passivhusstandardene, NS3700 og NS3701, har veldig like krav er det stor forskjell i begrensningene for utførelser. Kravene til U-verdier og teknisk utstyr er like, men for den normaliserte kuldebroverdien kommer det en avgjørende faktor, oppvarmet del av BRA (A_{fi}). Et skolebygg som vurdert i denne oppgaven har et oppvarmet innvendig areal på hele 11 000 m² mens en bolig gjerne ligger rundt 150 m². Når en skal beregne den normaliserte kuldebroverdien må man ta totalt kuldebrotap i de ulike tilslutningene og dele på A_{fi} . Med et større areal vil man derfor ha litt mer å gå på for å oppnå kravet. Ved å forandre bygningskroppen er det kuldebroverdiene og U-verdiene i konstruksjonen man må være oppmerksomme på.



Figur 73 Kompakt passivhus [arkitektur.no]

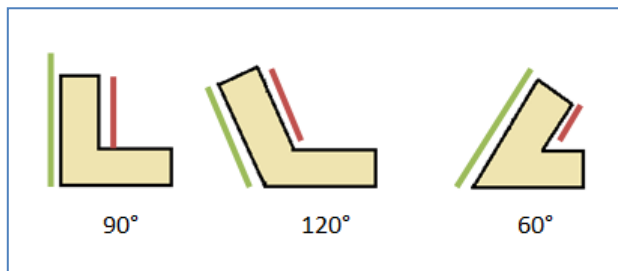


Figur 74 Marienlyst skole [futurebuilt.no]

Norges første passivhusskole, Marienlyst, er et eksempel på en helt firkantet og enkel bygningskropp. I likhet med Bodø vgs. er dette et skolebygg og trenger god tilgang til dagslys, noe som er et argument for å planlegge en indre og ytre sone. Men selv om bygget er helt kvadratisk har arkitekten prøvd ut detaljer som løfter inntrykket av skolen. Bildet nedenfor viser for eksempel utkragingen av etasjen over

ingangspartiet. For vurderingen av bygningskroppen har vi valgt ut tre utforminger som bidrar til en forandring fra de kompakte passivhusene.

Den første akturelle detaljen er hjørner. Som beskrevet tidligere i oppgaven fører hjørner til geometriske kuldebroer, altså varmetap som følge av ulike arealer ute og inne. Normalt sett består et bygg av fire hjørner på 90°, men dette er ikke nødvendig for å få et passivhus. Ut ifra en vurdering av materialbruk og størrelser på arealer ute og inne kan vi finne ut om det har noe å si om et hjørne er spisst, stump eller helt vinkelrett.

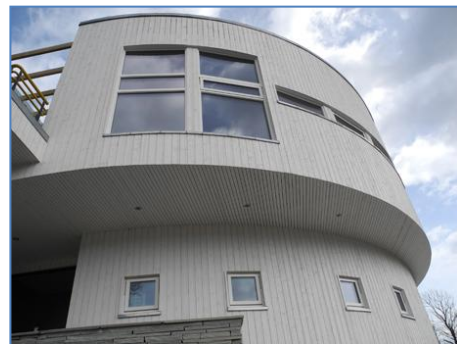


Figur 75 Prinsipp lengder ved hjørner

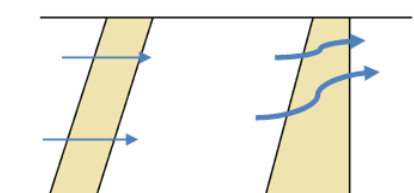
Materialbruken i et hjørne er større enn ellers i vegg, men en eventuell forandring av vinkel vil nødvendigvis ikke føre til økt andel stenderverk. Den store forskjellen ligger i utvendig og innvendig areal. Til venstre er det vist en illustrasjon med tre ulike vinkler og hvordan de innvendige arealene i vinkelen forandres. Alle hjørnene har utvendige lengder på 1 meter (grønn strek). 90° hjørnet har

innvendig lengde 0,65 meter, 120° hjørne har 0,80 meter og 60° hjørne har 0,40 meter. Stump vinkel kan teoretisk redusere kuldebroen mens spiss vinkel øker kuldebroen. Dette viser at dersom man bygger passivhus kan man prøve ut nye vinkler på hjørner uten at det medfører utfordringer. Istedenfor to vinkelrette hjørner kan det benyttes en 120° og en 60° og få summert omtrent samme kuldebroverdi.

Neste detalj er bruk av buer. Når vi sier buer tenker vi på veggkonstruksjoner i bueform istedenfor rette linjer. Ved å utforme buer i veggkonstruksjoner vil man få noen forandringer som i hovedsak påvirker materialbruken. Dette vil selvsagt variere ut ifra størrelsen på buen. Materialvalgene og materialenes isolerende evne vil være identisk med rette vegger. Radiusen på buen vil avgjøre hvor tett stenderne må stå, men ved store radiuser kan man fortsatt ha stenderverk med cc60. I prinsippet vil en bue være mange 120° hjørner satt tett etter hverandre, noe som fører til at store buer får omtrent like store areal ute og inne. Buer kan på grunn av mer material i veggene føre til høyere U-verdi, men forskjellen fra vanlige vegger er liten. Derimot vil en bue gi et mer spennende arkitektonisk uttrykk selv med passivhusstandard.



Figur 76 Rundt bygg [byggmesteren.as]



Figur 77 Varmetap vegg med ulik tykkelse

Den siste utformingen på bygningskroppen vi ønsker å se på er skråvegger. Dette kan være både utovergående og innovergående vegger. Byggeteknisk er det ikke store forskjeller på skrå vegger i forhold til rette. Materialbruken er identisk men utførelsen vil muligens ha noe å si for varmelagringen. I prinsippet kan vi se for oss to typer skrå vegger med ulik form. En skrå vegg med lik tykkelse fra bunnsvill til toppsvill vil få en jevn varmegjennomgang i hele konstruksjonen, og har av den grunn ingen forskjeller fra rette vegger.

Er veggen utført som skrå utvendig og rett innvendig kan vi derimot få et problem. Siden veggen er tynnere øverst vil temperatursiget forflytte seg dit og vi vil få et kulderas.

I tillegg til en uvanlig arkitektur vil også disse veggene ha ulike egenskaper. Bygget som er vist til venstre er en hytte lokalisert på Frøya, ytterst mot havgapet. På grunn av den sterke vinden og det harde været har arkitekten valgt å benytte skrå vegger for å bedre stå imot værkraftene. Altså bedre bestandighet mot vær, like isolerende egenskaper og et spennende uttrykk i forhold til kompakte bygg. Totalt sett vil det ikke være nødvendig å bygge kompakt og firkantet. Det er lov å gjøre endringer på byggekroppen som gjør bygget unikt.



Figur 78 Hytte designet til å motstå storm [dagbladet.no]

6.4.2 Fasadesystemer

Årsaken til at vi ønsker å se nærmere på fasadesystemer er at det i dag er utstrakt bruk av store glassflater i bygg. Transparente bygg gir et spennende uttrykk samtidig som glassflatene gjenspeiler det som ligger rundt og glir mykere inn i omgivelsene. Det er også en fordel med mye glass som slipper inn dagslyset. Passivhusstandarden gir ikke mye spillerom for heldekkende glassfasader. Det vil både overgå kravet om et maksimalt vindusareal på 20 % og kravet for oppvarmingsbehov. Dagens glassmaterialer er ikke gode nok til dette, selv med passivhusvindu.



Figur 79 Bygg med WICONA WICTEC FF fasadesystem [alu-profiles.info]



Figur 80 Passivhusbygg med "glassfasade" [wiconafinder.com]

Det er flere måter man kan holde seg innenfor kravene uten å eliminere glassfasader helt. Siden det er et krav til prosentvis glassareal kan det være mulig å ha glassfasade på ene fasaden til bygget dersom man har mindre på de andre. Dette vil nok ikke være den beste løsningen dersom dette gjør at det blir for lite dagslys i andre deler av bygget. Det som derimot er mulig er å bygge fasader som gir det samme uttrykket som en glassfasade. Til venstre er et bilde av et fasadesystem fra

WICONA som heter WICTEC FF. Dette systemet monteres på utsiden av bygget når veggene er ferdig isolert og vinduene inne i bygget er på plass. Man ser veggene og vinduselementene inne i bygget, mens utsiden er kontinuerlige glassvegger. På denne måten kan man bygge et passivhus på innsiden, men likevel bygge et glassbygg.[66]

Man kan også velge å benytte materialer som reflekterer omgivelsene på samme måte som glass. Bygget her ser i første omgang ut som

et glassbygg på grunn av refleksjonene, men ser vi nærmere er kun en liten del gjennomiktig glass. Denne metoden gjør det mulig å bygge gode konstruksjoner på innsiden hvor det ikke er glass. Dette bygget har et energiforbruk som er så lavt at det tilfredsstillende passivhuskravene.

Til slutt vil vi se på Bjørvika bibliotek som skal stå ferdig i 2016. Det ser ut som om bygget er prosjektert med store glassfasader, men det er ikke mer enn 20 % gjennomgående glass. Resten av



Figur 81 Bjørvika bibliotek [dinlokalavis.no]

fasaden er basert på en gjennomskinnelig aerogel som har svært gode isolasjonsverdier. Dette gir et bygg med godkjent energitap samtidig som det har et lyst og lett uttrykk. Selv om dette bygget ikke skal være et passivhusbygg er det interessant å se at det stadig dukker opp nye metoder for å holde på arkitektoniske verdier samtidig som man tenker på energibruken.[67]

6.4.3 Solcellepanel

Solcellepaneler har vært benyttet i mange år for å skaffe strøm til bygninger. Vi forbinder det med elementer på hyttefasader som er sjenerende for både bygg og omgivelser. Etter at det ble fokus på energieffektive bygg har solcellepaneler blitt en mer brukt energikilde og derfor en kjent komponent på bygninger. Det positive er at ettersom det i flere prosjekter har vært ønskelig med store solcellepanelarealer har man funnet nye måter å integrere disse. Istedenfor at panelene festes på utsiden av tak eller vegg har flere arkitekter begynt å bruke de til å skape nye arkitektoniske uttrykk.



Figur 82 Solcellepaneler plassert kun for funksjon [teknofil.no]

man i våre øyne ødelegger fasaden og skaper et uryddig uttrykk. På det andre bildet ser det derimot ut som om panelene er taktekingen. Her har man gjennomført bruken av panelene på en slik måte at man får et ryddig og fint helhetsinntrykk. Istedenfor å ødelegge husets fasade komplimenterer de det og gjør at huset glir mykere inn i omgivelsene.

Et annet arkitektonisk trekk som har kommet tydeligere frem med bruk av solcellepanel er skrå tak. Skal man ha solcellepanel på et flatt tak er det vanlig at de står etter hverandre med en vinkel som retter seg mot solen. Istedenfor å la panelene

Ved å se på disse to bildene av solcellepanel på tak ser vi at husene får to helt forskjellige uttrykk etter hvordan man bruker panelene. På det øverste taket har man helt tydelig satt på panelene i etterkant. Dette gjør at



Figur 83 Godt integrerte paneler [daria.no]

stå på taket er det flere bygg hvor man har gitt taket denne vinkelen, for så å integrere platene i taket på samme måte som bildet over. Dette gir bygget et mer særegent uttrykk samtidig som man slipper stygge installasjoner oppå taket.



Figur 84 Solcellepanel på fasaden til energibygget Lerkendal [byggaktuelt.no]

Flere har også begynt å bruke solcellepanel i veggfasadene. Et eksempel er det nye energibygget Lerkendal. Her har man bevist brukt panelene for å gi fasaden et annerledes uttrykk. Her får man fordelen fra solen samtidig som fasaden både får en fargeforandring og en ny dybde uten å bygge ut veggene.

Det andre eksemplet med solcelle i fasaden er hentet fra et prosjekt i Tyskland. Her har de benyttet

solcellepanelene på alle balkongene i bygget. Ved å benytte panel med ulike farger gir dette et livlig uttrykk til de ellers så ordinære blokkene.



Figur 86 Fargede solcellepaneler på balkong [balco.eu]



Figur 85 Solcellepanel i taket på Oceania [bkk.no]

Til slutt ønsker vi å ta med et bilde fra det nye kulturhuset Oceania i Os i Hordaland. Dette er et bygg med spennende arkitektur. På grunn av blant annet de store glassflatene er ikke dette noe passivhus, men de har likevel integrert store arealer av solcellepaneler. Hele buen som strekker seg fra andre etasje og opp over taket er kledd med solcellepanel. Dette er nok et godt eksempel på at nye måter å integrere solcelle kan være med på å skape spennende arkitektur. Samtidig ser man at på grunn av at man må tenke nytt med passivhusstandarden er ikke dette noen

hindring. De dørene som kanskje lukkes på grunn av de strenge kravene gir nytt spillerom både for nye materialer og måten å bruke de på.[68]

7 Konklusjon

For denne oppgaven hadde vi bestemt to hovedmål innledningsvis som skulle besvares. Den første var å gjøre en utredning på om det vil være mulig å oppnå passivhusstandard på nybygget av Bodø vgs. Vi skulle her presentere gode løsninger for de byggetekniske utfordringene og måle disse opp imot kravet.

Etter å ha gjort en del forandringer på oppbygging av konstruksjoner og oppgraderinger til energieffektive bygningsdeler vil det være mulig å oppnå passivhusstandard for nybygget. Den nye standarden NS3701:2012 Kriterier for passivhus og lavenergihus, Yrkesbygg er tilfredsstillt. For å oppnå dette er det ikke bare det byggetekniske som må forandres. Tiltakene med størst potensial til forbedring er tekniske installasjoner. Selv om dette er utenfor vårt fagfelt viser det seg mulig å gjøre de oppgraderingene som trengs, uten at det medfører problemer.

Det andre hovedmålet går mer direkte på detaljering av de ulike forbedringene. For alle de detaljene som vi har ønsket å fokusere på har varmetapet blitt redusert. Den normaliserte kuldebroverdien som i den første Simiensimuleringen var $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ har blitt redusert til $0,0045 \text{ W/m}^2\text{K}$ (runder opp til $0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$). Selv om vi har detaljer som medfører et større kuldebrotap enn andre vil det store brutto arealet av bygget føre til at verdien av normalisert kuldebroverdi er godkjent. Kravet i NS3701 av normalisert kuldebroverdi er $\leq 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$, så med våre utforminger av detaljer og tilslutninger vil dette hovedmålet være oppnådd.

For å få et mer reelt resultat av mulighetene for å bygge passivhus har vi også valgt noen delmål. Viktigst av disse er den økonomiske vurderingen av energibesparelsen man kan oppnå for dette skolebygget. Med våre tiltak og forandringer reduserer vi energibehovet med 43 kWh/m^2 . For skolebygg vil en i TEK-10 ha et maksimalt energibehov på 120 kWh/m^2 . I våre beregninger vil Bodø vgs. få et netto energibehov på $61,9 \text{ kWh/m}^2$. Dette viser at det vil være mulig å redusere energibehovet i skolebygg med nesten 50 %. Selv om skolebygg ikke er den mest utbredte byggkategorien i landet vil energibesparelsen virke svært positivt på målet om å redusere den totale energibruken i Norge. Målt i strømutfgifter, og med en fremtidig strømpris på 110 øre/kWh, vil våre endringer føre til en spart utgift på 520 726 kr hvert år.

Økonomisk sett vil denne oppgraderingen til passivhus føre til en merkostnad på 9 907 829 kr. Dette utgjør i underkant av 4 % av den totale kontraktsummen. Vurderingene som er gjort i oppgaven viser at oppgraderingen til passivhus ikke kommer til å bli tjent inn i forhold til levetiden til det tekniske utstyret. Her vil det være en del ukjente faktorer, men med en nedbetalingsplan som vist i oppgaven (uten å ta hensyn til utstyrets levetid) vil merkostnadene være tjent inn i løpet av 16,5 år. Med en byggherre som ønsker denne oppgraderingen til passivhus vil det være mulig både byggeteknisk og økonomisk.

Dette beskrives i andre delmål. Byggherrens og investorens ønske til å finansiere oppgraderingen til passivhusstandard. Økonomien har en svært stor rolle i dette valget. Undersøkelser som er gjort viser at det er stor usikkerhet rundt lønnsomheten. På grunn av media, behov for materialer som ennå ikke er tilgjengelige og frykten for merkostnader etter ferdigstilling er det negative holdninger til passivhus. Selv om det til nå har vært negative meninger om passivhus er interessen for utviklingen blitt større. Flere prosjekter er startet, og med sertifiseringer og pilotbygg er utviklingen mot et fast energimål kommet godt i gang. Prosjekter som er gjennomført gir positive tilbakemeldinger og verdiøkningen av bygget har begynt å bli synelig for befolkningen. Om byggherren i dette prosjektet

vil velge passivhus er usikkert, men med de vurderingene vi har gjort viser det seg at muligheten er der.

Til slutt har vi vurdert arkitekturen i et passivhus. Flere prosjekter har til endt med kompakte bygningskropper med små vindusflater. Det kan det virke som om arkitektens muligheter blir begrenset. Ved offentlige bygg, i dette tilfellet skolebygg, vil det være mulig å forandre arkitekturen uten at det medfører problemer for å oppnå passivhuskravet. De konstruksjonsdelene vi har sett på medfører ikke betydelige varmetap men skaper et mer spennende uttrykk av bygget. For arkitekturen sin del vil det også være muligheter for å ta i bruk nye funksjoner som gir et annet uttrykk enn de kompakte bygningskroppene. Et eksempel som er vist i oppgaven er solcellepaneler som integreres i fasader. Arkitekturen kan forandres også i passivhus.

Totalt sett viser denne rapporten at nye Bodø videregående skole kan bygges som passivhus, og at utfordringene ved oppgraderingen ikke vil begrense skolens bruksområder.

8 Figurliste

Figur 1 Kyotopyramiden [Husbanken.no]	4
Figur 2 Energifordeling	5
Figur 3 Utsnittsdetalj beregning [NBI 471.008]	11
Figur 4 Totalt areal bygningskategori 2010 [POB 3/3]	15
Figur 5 Eksteriørperspektiv Bodø vgs.	16
Figur 6 Utsnitt av detaljreguleringsplan for Bodø vgs. [bodo.kommune.no].....	16
Figur 7 Planløsning 1 etg.	17
Figur 8 Bæresystem [consolis.com/spenncon]	18
Figur 9 Situasjonsplan Bodø vgs.	21
Figur 10 Diagram over potensial av passive tiltak for passivhus frem mot år 2040 [POB 3/3].....	24
Figur 11 Prinsipp "Blower-door" [NBI 720.035]	26
Figur 12 Glassfasade inngangsparti	28
Figur 13 1042+ [energate.no].....	29
Figur 14 Snitt og temperaturendring 1042+ [energate.no]	30
Figur 15 Schüco FW 50+SI [schueco.com].....	31
Figur 16 Schüco fasade med innebygd ProSol TF- [schueco.com]	31
Figur 17 Sapa fasade 4150SX [sapagroup.com]	31
Figur 18 NorDan NTech passivserie [nordan.no]	32
Figur 19 Dørrinsetting fasadesystem [sapagroup.com]	32
Figur 20 Thermofoto lager med port [hoermann.no]	33
Figur 21 Porter med ThermoFrame [Hörmann]	34
Figur 22 Detaljsnitt DPU-port [Hörmann]	34
Figur 23 Prinsipp luftport [NBI 533.301]	35
Figur 24 Iso-duk [Hörmann]	36
Figur 25 Vakuumisolasjon og tradisjonell isolasjon med samme U-verdi.....	37
Figur 26 Sammenligning Glava, Rockwool og VIP	38
Figur 27 Vegg med gjennomgående stendere [glava.no]	39
Figur 28 Hunton I-bjelken [hunton.no]	39
Figur 29 Moelven Iso3 stendere [moelven.com/no].....	39
Figur 30 Dobbel bindingsverksvegg [passivhus i Heer, Drøbak].....	40
Figur 31 Stålstender med slisser [gyproc.no]	40
Figur 32 Veggsnitt U-verdi 0,18W/m ² K [NBI 471.012]	43
Figur 33 Yttervegg med dobbelt stenderverk	43
Figur 34 Yttervegg modell THERM og varmegjennomgang	44
Figur 35 Tak etter krav i TEK-10 [NBI 471.013]	45
Figur 36 Valgt takoppbygging	45
Figur 37 Temperaturforandring simulert i THERM.....	45
Figur 38 Valgt gulvoppbygging	46
Figur 39 Modell av gulv THERM	47
Figur 40 Valgt oppbygging av gulv i verkstedet.....	47
Figur 41 Modell av gulvet i verkstedet THERM	47
Figur 42 Valgt oppbygging av gesims	48
Figur 43 Modell av gesims THERM	48
Figur 44 Varmegjennomgang i gesimsdetaljen	49

Figur 45 Valgt oppbygging av etasjeskille.....	50
Figur 46 Modell av etasjeskille THERM	50
Figur 47 Varmegjennomgang etasjeskille	51
Figur 48 Valgt oppbygging av grunnmur	52
Figur 49 Modell grunnmur THERM.....	52
Figur 50 Varmegjennomgang grunnmur med 100mm og 50mm kuldebrobryter	53
Figur 51 Valgt oppbygging av grunnmur verksted	54
Figur 52 Modell og varmegjennomgang grunnmur verksted	54
Figur 53 Varmelagring under gulv [NBI 521.112]	55
Figur 54 Vist effekt av varmelager.....	55
Figur 55 Valgt oppbygging av hjørne.....	56
Figur 56 Modell og varmelagring hjørne THERM	57
Figur 57 Innfesting port med ThermoFrame.....	58
Figur 58 Innsetting port.....	58
Figur 59 Modell av port THERM	58
Figur 60 Varmegjennomgang port	59
Figur 61 Plantegning 4etg./tak	60
Figur 62 Detalj samlelyre på tak [NBI 544.204].....	60
Figur 63 Gjennomføring over heissjakt [Sweco Bergen]	61
Figur 64 Rørgjennomføring i tak [NBI 544.204]	61
Figur 65 Resultat varmetapsbudsjett [Simien].....	68
Figur 66 Resultat energiytelse [Simien].....	68
Figur 67 Resultat minstekrav enkeltkomponenter [Simien]	68
Figur 68 Resultat av evaluering [Simien].....	68
Figur 69 Nøkkeltall fra investeringskalkulatoren [Enova.no]	72
Figur 70 Nye nøkkeltall fra investeringskalkulatoren [enova.no]	73
Figur 71 Grønn sertifisering [no.mth.com/]	76
Figur 72 Vennesla bibliotek [husbanken.no].....	77
Figur 73 Kompakt passivhus [arkitektur.no]	78
Figur 74 Marienlyst skole [futurebuilt.no]	78
Figur 75 Prinsipp lengder ved hjørner	79
Figur 76 Rundt bygg [byggmesteren.as].....	79
Figur 77 Varmetap vegg med ulik tykkelse.....	79
Figur 78 Hytte designet til å motstå storm [dagbladet.no].....	80
Figur 79 Bygg med WICONA WICTEC FF fasadesystem [alu-profiles.info]	80
Figur 80 Passivhusbygg med "glassfasade" [wiconafinder.com]	80
Figur 81 Bjørvika bibliotek [dinlokalavis.no]	81
Figur 82 Solcellepaneler plassert kun for funksjon [teknofil.no]	81
Figur 83 Godt integrerte paneler [daria.no].....	81
Figur 84 Solcellepanel på fasaden til energibygget Lerkendal [byggaktuelt.no].....	82
Figur 85 Solcellepanel i taket på Oceania [bkk.no]	82
Figur 86 Fargede solcellepaneler på balkong [balco.eu].....	82

9 Tabelliste

Tabell 1 Netto energibehov oppvarming [NS3701].....	6
Tabell 2 Energibehov bygningskategori [NS3701].....	6
Tabell 3 Krav varmetapstall [NS3701]	7
Tabell 4 Varmetapstall bygningskategori [NS3701]	7
Tabell 5 Eksempel krav U-verdi veggkonstruksjon.....	8
Tabell 6 Minstekrav [NS3701 og Prosjektrapport 42]	8
Tabell 7 Eksempelverdier ytterkonstruksjoner [NS3701]	8
Tabell 8 Overflatemotstand [NBI 471.008]	11
Tabell 9 Unøyaktighet metoder kuldebroverdi [Prosjektrapport 25]	12
Tabell 10 Energibruk internlaster [Simien].....	20
Tabell 11 Resultatvurderinger [Simien].....	22
Tabell 12 Resultatsimulering 2 [Simien].....	23
Tabell 13 Beregning total U-verdi 1042+ [energate.no]	29
Tabell 14 Kuldebroverdi vindusinnsetting [NBI 471.017].....	30
Tabell 15 Klassifisering luftgjennomstrømning [NBI 533.301]	35
Tabell 16 Sammenligning SPU40 og DPU	36
Tabell 17 Sammenligning bindingsverk U-verdi [glava.no]	41
Tabell 18 Prisvurdering Iso3 pluss utlekting [moelven.com/no og byggmax.no]	42
Tabell 19 Prisvurdering dobbelt stenderverk og isolasjon [byggmax.no og maxbo.no]	42
Tabell 20 Materialbeskrivelse THERM.....	44
Tabell 21 U-verdi ved ulik isolasjonsplassering	46
Tabell 22 Beregning kuldebroverdi gesims	49
Tabell 23 Beregning kuldebroverdi etasjeskille.....	51
Tabell 24 Beregning kuldebroverdi grunnmur	53
Tabell 25 Beregning kuldebroverdi grunnmur verksted	54
Tabell 26 Beregning kuldebroverdi hjørne.....	57
Tabell 27 Beregning av kuldebroverdi port.....	59
Tabell 28 Beregning normalisert kuldebroverdi.....	63
Tabell 29 Merkostnader på tiltaksnivå [Enova rapportmal]	66
Tabell 30 Nye inndata i Simien	67
Tabell 31 Resultat energibehovforandring.....	69
Tabell 32 Resultat beløp spart for energibehov	69
Tabell 33 Inndata i investeringskalkulatoren	72

10 Kildeliste

Personreferanser

- Per Stig Solbakken, Sivilingeniør, Sweco Norge AS – avd. Trondheim
- Jorun Merete Rønnevik, Sivilingeniør, Sweco Norge AS – avd. Bergen
- Tormod Aurlien, Professor, UMB (kommunikasjon pr. mail)
- Tor Helge Dokka, Seniorforsker, Sintef Byggforsk (kommunikasjon pr. mail)
- Ola Flønes, Kalkulatør, HENT AS (kommunikasjon pr. mail)
- Stine, Enova svarer, Enova (kommunikasjon pr. mail)
- Geir Kleveland, Avdelingsleder, Hörmann Norge AS - avd. Trondheim
- Leif Hofseth, Daglig leder, Energate AS – Norge
- Jardar Kilsti Nordeng, Salgsupport, Sapa Building System – Norge (kommunikasjon pr. mail)
- Audun Surdal, Leder salgssupport, NorDan AS
- Salgsupport, Pilkington AS

Litteraturreferanser

- [1] - http://www.husbanken.no/miljo-energi/hva_er_et_passivhus/
- [2] - NS3031:2007 Beregning av bygningers energiytelse, Metode og data, Standard Norge
- [3] - “ENERGIEFFEKTIVE BOLIGER FOR FREMTIDEN” av Tor Helge Dokka og Kathy Hermstad
- [4] - NS3701:2012 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger, Yrkesbygninger, Standard Norge
- [5] – Prosjektrapport 42, Kriterier for passivhus- og lavenergibygging – Yrkesbygg, Sintef Byggforsk
- [6] – Byggteknisk forskrift av 2010 (TEK-10) § 14-Energi
- [7] – Prosjektrapport 25, Kuldebroer- Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk, Sintef Byggforsk
- [8] – NBI Byggdetaljblad 471.008, Beregning av U-verdi etter NS-EN ISO 6946
- [9] – NBI Byggdetaljblad 471.016, Kuldebroer, Metoder for å bestemme kuldebroverdi
- [10] – NBI Byggdetaljblad 471.017, Kuldebroer, Tabeller med kuldebroverdier
- [11] - <http://www.enova.no/finansiering/naring/programtekster/program-stotte-til-passivhus-og-lavenergibygging/245/281/>
- [12] - <http://www.enova.no/finansiering/naring/programtekster/program-stotte-til-utredning-av-passivhus/245/282/>

- [13] – POB 3/3, Passivhus og nær nullenergibygninger, Enova
- [14] – www.isorasthus.no
- [15] – <http://www.futurebuilt.no/?nid=202336&lcid=1044>
- [16] – Forprosjektdokument, Fagbeskrivelse VVS-anlegg Åsveien skole og idrettshall
- [17] <http://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?c=Prosjekt&cid=1193731580019&pagename=ForskningradetNorsk/Hovedsidemal&p=1181730334233>
- [18] – NBI Byggforvaltningsblad 720.035, Måling av bygningers luftlekkasje, Trykkmetoden
- [19] – www.holdtett.no
- [20] - http://www.sintef.no/upload/SKMBT_C45009092910160.pdf
- [21] - <http://www.byggemiljo.no/getfile.php/Filer/UiA%20-%20passivhus.pdf>
- [22] - <http://lyssand.com/no/produktmeny/engergiklasser/lyssand-passiv-0-7/>
- [23] – www.energate.no
- [24] http://www.hprodukter.no/download.aspx?object_id=F7349C9B4E2E4F5597A79D4B44027B1F.pdf – Sintef Sertifisering Energate.
- [25]- NBI Byggdetaljblad 533.102, Vinduer, Typer og funksjoner
- [26] - NBI Byggdetaljblad 571.954, Isolerruter, Lys- og varmetekniske egenskaper
- [27] - NBI Byggdetaljblad 471.015, Kuldebroer, Konsekvenser og dokumentasjon av energibehov
- [28] - <http://www.schueco.com/web/no>
- [29] - <http://www.sapagroup.com/no/company-sites/sapa-building-system-ab/sapa-byggsystem/>
- [30] – <http://www.nordan.no/wp-content/uploads/2012/06/NorDan-hoveddorbrosjyre-2012.pdf>
- [31] - <http://www.sapagroup.com/no/company-sites/sapa-building-system-ab/sapa-byggsystem/produkter/folde--vindusdorer/sapa-vindusdor-1074-utadslaende/funksjoner-og-krav/u-verdi-fyllinger/>
- [32] – NBI Byggdetaljblad 533.301, Valg av porter og portsystemer
- [33] - <http://www.vvs-foreningen.no/portal/pls/portal/docs/1/966045.PDF>
- [34] - Hörmann Norge AS, avd. Trondheim, ved avd. leder Geir Kleveland
- [35] - Hörmannbrosjyren "Industri-leddporter" (01.2012) og "Teknisk manual – Industri-leddporter" (07.2009)
- [36] - <http://www.glava.no/produkter/byggisolasjon/glava-extrem-33/>

- [37] - <http://guiden.rockwool.no/produkter/byggisolering/flexekstrem-33>
- [38] - <http://www.sintef.no/upload/Byggforsk/Fagartikler/Byggeindustrien/02-09%20vakuumisolasjon-ny.pdf>
- [39] - http://www.bygningsfysikk.no/NorskBygningsfysikkdag2009/09_Grynning.pdf
- [40] - <http://www.sundolitt.no/sundolitt/produkter/>
- [41] - <http://www.glava.no/leilighets-naeringsbygg/kompakte-tak/produkter/paroc-rette-plater/>
- [42] - <http://www.hunton.no/index.php?p=139-64-62>
- [43] - <http://www.moelven.com/ImageBank/Brosjyre%20Passivhus%20mIso3%202-sider%20lavoppl.pdf>
- [44] - <http://www.glava.no/leilighets-naeringsbygg/bygningskonstruksjoner/yttervegger/>
- [45] <http://www.moelven.com/Documents/Iso3/Iso3%20nobbpriser%20fra%201%20mai%202011%20rev%20april%202012.pdf>
- [46] - http://www.maxbo.no/upload/kampanje/2010/k10/maxbo_k10_lowres.pdf
- [47] - <http://www.byggmax.com/no-no/byggevarer/treverk-ubeh-tre/konstruksjonstreverk-ramme>
- [48] – NBI Byggdetaljblad 521.111, Golv på grunnen med ringmur, Utførelse
- [49] - NBI Byggdetaljblad 521.112, Golv på grunnen med ringmur, Varmeisolering, frostsikring og beregning av varmetap
- [50] - NBI Byggdetaljblad 544.204, Tekking med asfalttakbelegg eller takfolie, Detaljløsninger
- [51] - <http://www.tpf-info.org/pdf/TemaveilederFlateTak.pdf>
- [52] – Teknisk Ukeblad nr.21 2012 og nr.31 2012
- [53] - http://www.husbanken.no/miljo-energi/verdt_aa_vite/fordeler-og-utfordringer-ved-aa-bygge-passivhus/
- [54] - <http://lavenergiprogrammet.no/fordeler-og-utfordringer-med-passivhus/fordeler-og-utfordringer-med-passivhus-article1550-236.html>
- [55] - <http://www.skanska.no/no/om-skanska/samfunnsansvar/miljoansvar/breeam-og-leed-miljosertifisering/>
- [56] - <https://new.usgbc.org/leed>
- [57] - <http://no.mth.com/Metoder/Baerekraftighet/Sertifisering/LEED.aspx>
- [58] - https://www.tekna.no/ikbViewer/Content/799398/SKANSKA_NO-761214-1-Presentasjon_til_Milj%C3%B8basen_16_04_10_Milj%C3%B8sertifisering.pdf

- [59] - <http://no.mth.com/Metoder/Baerekraftighet/Sertifiseringer/BREEAM.aspx>
- [60] - <http://www.breeam.org/about.jsp?id=66>
- [61] - <http://www.ngbc.no/index.php?q=content/dette-er-norwegian-green-building-council>
- [62] - <http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/greenbuilding>
- [63] - <http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/greenbuilding-programme/how-join>
- [64] – <http://www.lavenergiprogrammet.no/om-lavenergiprogrammet/>
- [65] – <http://www.futurebuilt.no/?nid=206266&lcid=10044>
- [66] - <http://www.glassportal.no/aktive-fasader.4742051-77003.html>
- [67] - <http://www.glassportal.no/index.php?id=4664866>
- [68] - http://www.bkk.no/om_oss/media/Nyheter_og_pressemeldinger/article33772.ece

11 Trykt vedleggsliste

- A Tegninger Bodø videregående skole
- B Inndata Simien
- C Evaluering av prosjektet opp mot TEK-10
- D Vurdering og beregning av U-verdi i glassfasade
- E Detaljtegninger av konstruksjoner og tilslutninger
- F U-verditabeller fra Byggforsk, ytterkonstruksjoner
- G THERM modeller
- H Håndberegninger vegg og etasjeskille
- I Prislister vindu, glassfasade, dør og port
- J Evaluering med våre valg opp mot passivhusstandard
- K Inndata Enovas investeringskalkulator

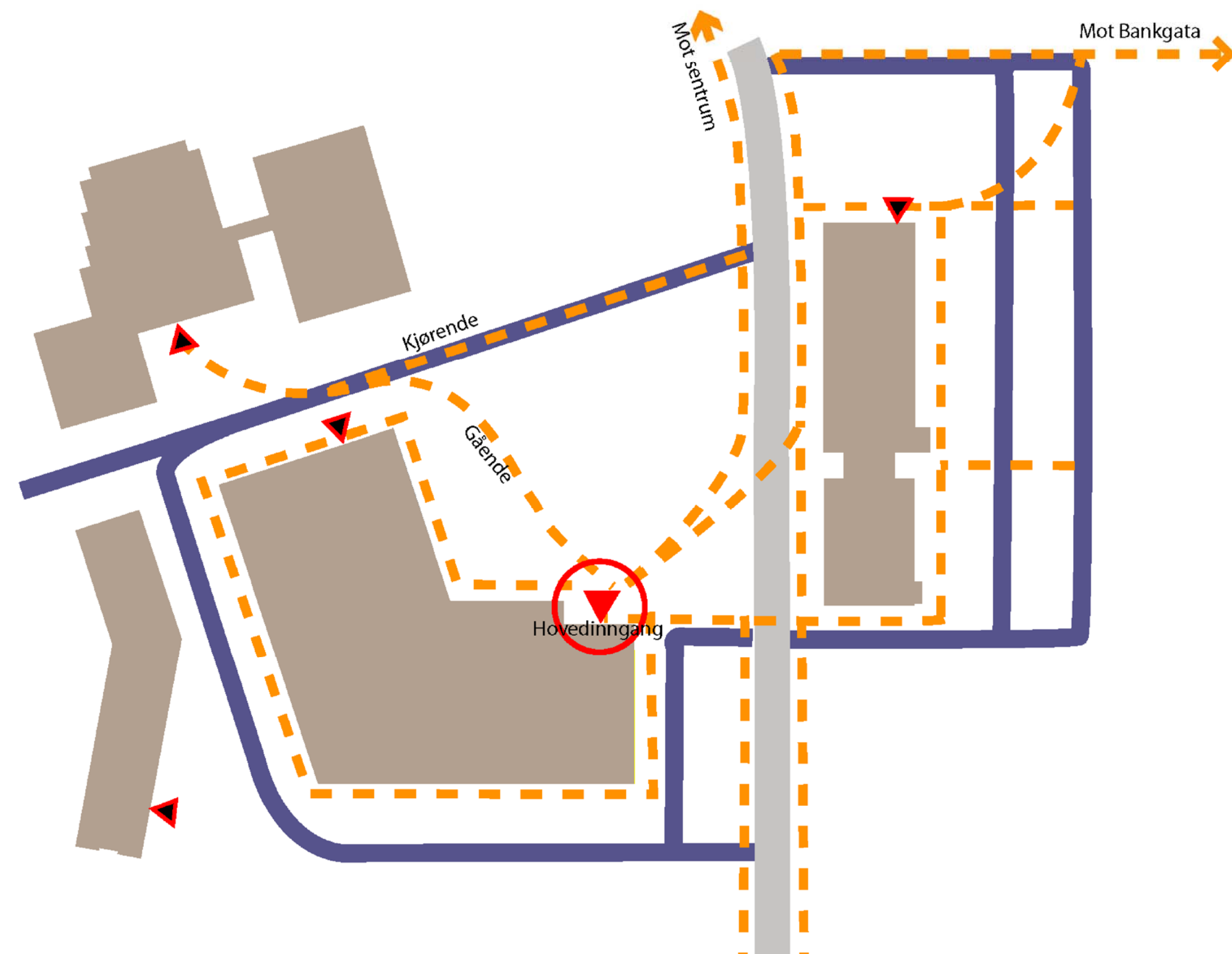
Tegninger Bodø videregående skole.

Tegningsliste

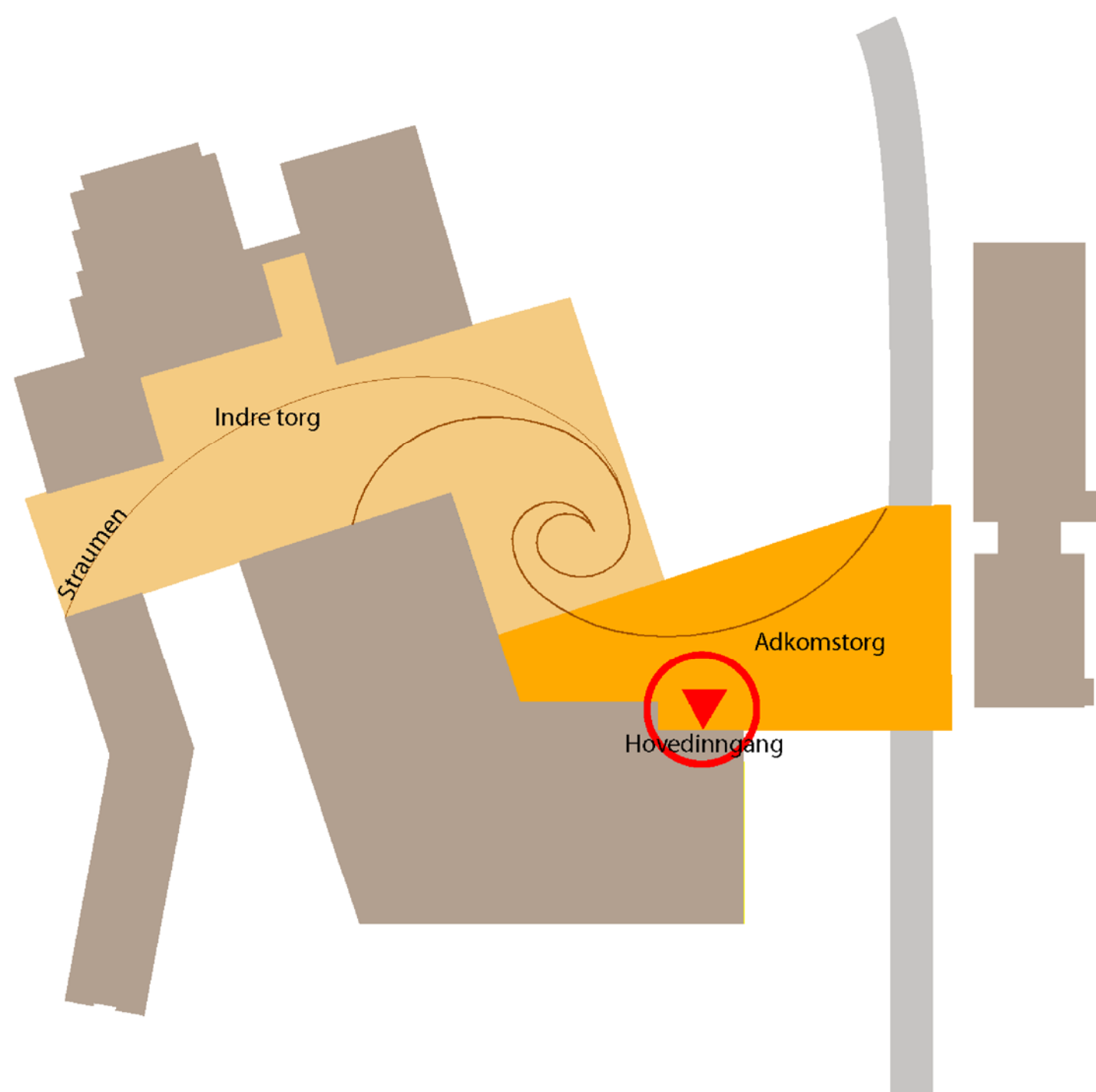
Prosjekt nr.:	Prosjektnavn:	Dato:	Sign.:
04.715	Nybygget Bodø videregående skole	07.12.2012	Ragnhild/Lars.

Nr.ID *	Navn	Type	Arkformat	Målestokk
1	Situasjonsplan	Plan	A3	1:500
04.715-A-V-21.100-3	1.Etasje Nybygg	Etg.plan	A3	1:200 (A1)
04.715-A-V-21.200-3	2.Etasje	Etg.plan	A3	1:200 (A1)
04.715-A-V-21.300-3	3.Etasje	Etg.plan	A3	1:200 (A1)
04.715-A-V-21.400-3	4.Etasje/Takplan	Etg.plan	A3	1:200 (A1)
04.715-A-V-42.001-3	Fasader nord-nordvest-nordøst	Fasade	A3	1:100 (A1)
04.715-A-V-42.001-3	Fasader syd-sydvest-øst	Fasade	A3	1:100 (A1)

(Målestokkene er normalt i forhold til A1 format, men skriver i denne oppgaven ut som A3 siden det kun er for illustrasjon.)



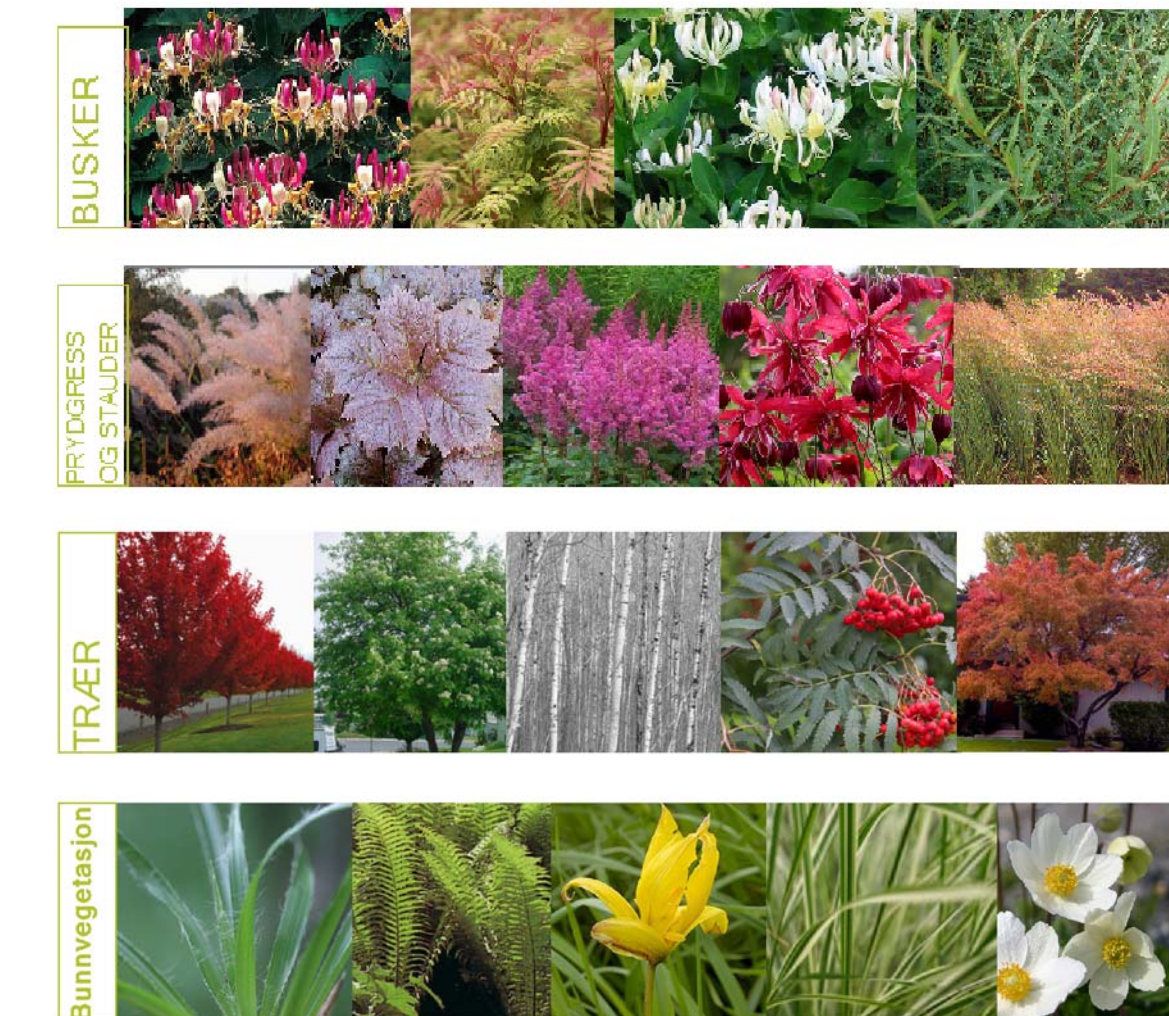
Bevegelser



Hovedgrep



Situasjonsplan - mål 1:500

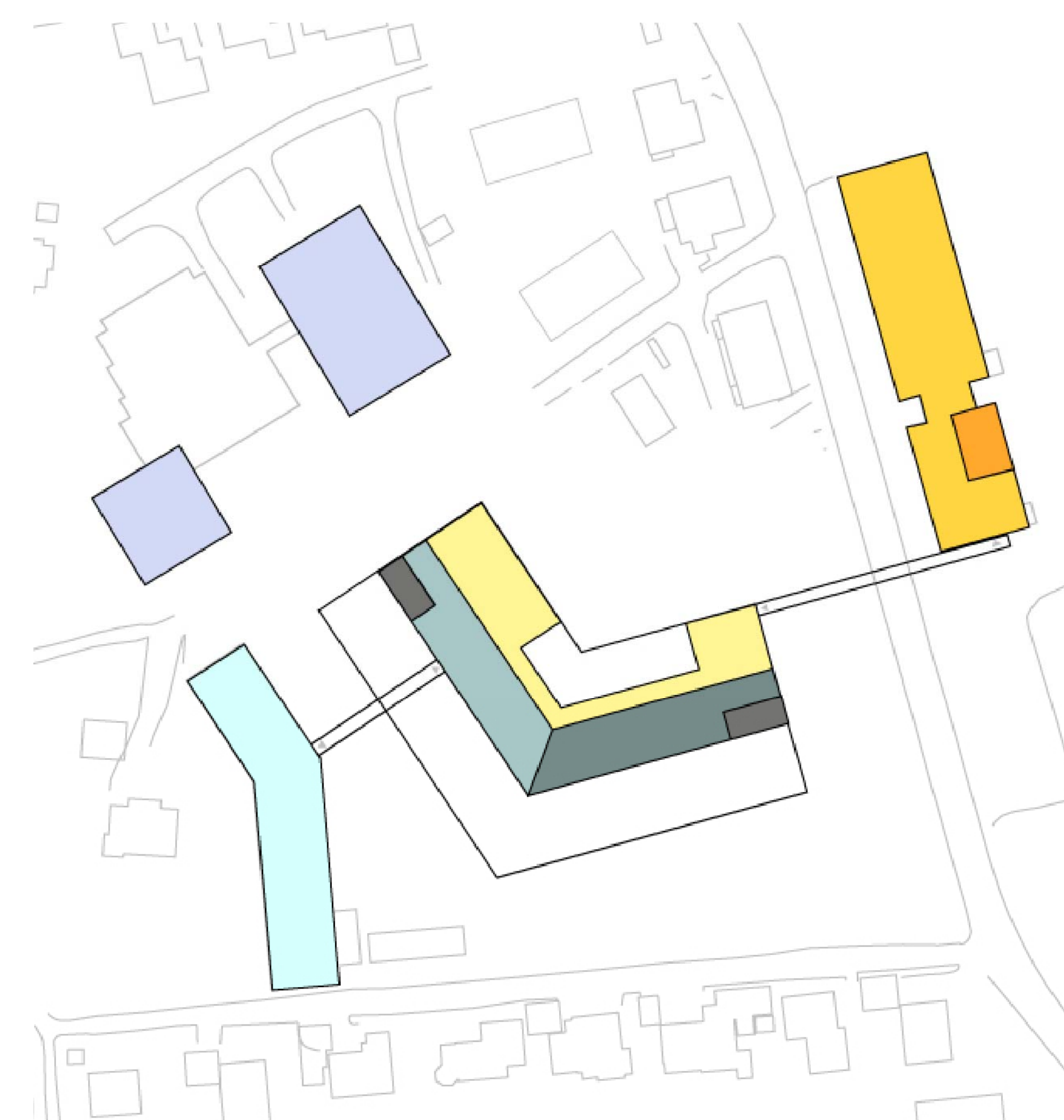


- Studiespesialiserende fag
- Musikk, dans og drama
- Bygg- og anleggsteknikk
- Design og håndverksfag
- Elektrofag
- Helse og sosialfag
- Restaurant og matfag
- Service og samferdsel
- Teknikk og industriell produksjon
- Studieverksted
- Fellesområder for opplæring (realfag, kropps)
- Spesialområder for opplæring
- Fellesservice elever (kantine, bibliotek, mm.)
- Ledelse og personalservice
- Teknisk drift
- Tekniske områder

Tegnforklaring



Undervisningsfunksjoner plan 1. etasje



2. etasje



3. etasje



4. etasje

--	--	--	--

Tegningsnummer:
 Prosjekt - Fag - Bygg - Type tegning - Lepenr. - Fase - Rev.
04.715-A-V-21.100-3

FARGEKODER FOR FAGOMRADER

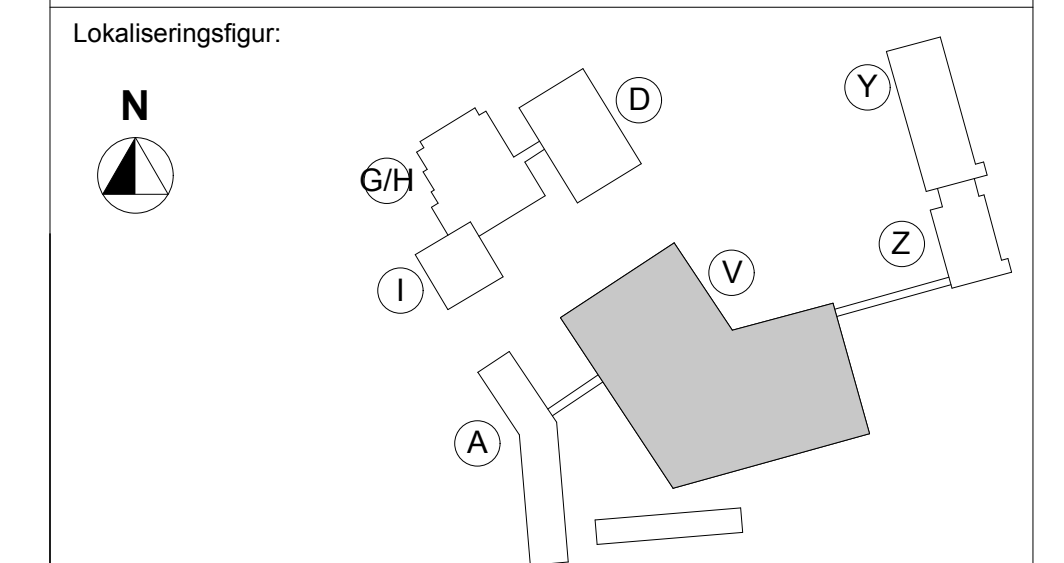
STUDEVERKSTED	HELSE OG SOSIALFAG
MUSIKK, DANS OG DRAMA	STUDIESPESIALISERENDE FAG
DESIGN OG HÅNDVERKSFAG	SPECIALOPPLÆRING
ELEKTROFAG	BYGG- OG ANLEGGFAG
TEKNIKK OG INDUSTRIELL PRODUKSJON	FELLESMOMENT FOR OPPLÆRING
FELLESSERVICE ELEVER	LEDELSE OG PERSONALSERVICE
RESTAURANT OG MATFAG	TEKNISK DRIFT
SERVICE OG SAMFERDSEL	TEKNISK OMRÅDE

INFORMASJONSTEGNING
26.11.2012

-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

Fase Rev. Rev. Utført: Date: Godkj:

Tegningsnummer:
 Prosjekt - Fag - Bygg - Type tegning - Lepenr. - Fase - Rev.
04.715-A-V-21.100-3



- Prosjekterende: (tegning utarbeidet av):
- ARK: OTTAR ARKITEKTER AS, Rosenborg gate 186, 0356 Oslo, tlf: 22 12 12 50
 - ASBKTEKONTORET KVADRAT AS, Skanstad Kroghs veg 15E, 7021 Trondheim, tlf: 72 56 66 20
 - RIB: MULTICONSULET AS, Sluppenvegen 23, 7037 Trondheim, tlf: 72 59 31 80
 - RIV: SWECO AS, Professor Brochs gate 2, 7030 Trondheim, tlf: 73 83 35 00
 - RIE: SWECO AS, Professor Brochs gate 2, 7030 Trondheim, tlf: 73 83 35 00
 - LARK: GRINDAKER AS LANDSKAPSARKITEKTER, Kjøpmannsgate 1A, 0113 Oslo, tlf: 23 11 34 40
 - RIBR: RAMBOLL NORGE AS, Melhusveien 79, 7018 Trondheim, tlf: 73 84 10 00
 - RIA: CONVA AS, Oslo-Nordens vei 12, 7052 Trondheim, tlf: 02894

BYGGHERRE:
 NORDLAND FYLKESKOMMUNE
 V/ EIENDOMSSEKSJONEN
 FOLKESHUSET
 8048 BODØ
 tlf: 76 65 00 00
 e-post: post@nlf.no

TOTALENTREPRØR:
 HENT AS
 VESTRE ROSTEN 79
 7075 TILLER
 tlf: 72 90 17 00
 e-post: firmapost@hent.no

Prosjektnr., -navn, -lokalisering:
04.715 BODØ VGS.
 NYBYGG OG REHABILITERING
 Torvgata, Bodø
 Gnr. 138 / Bnr. 3825 mfl.

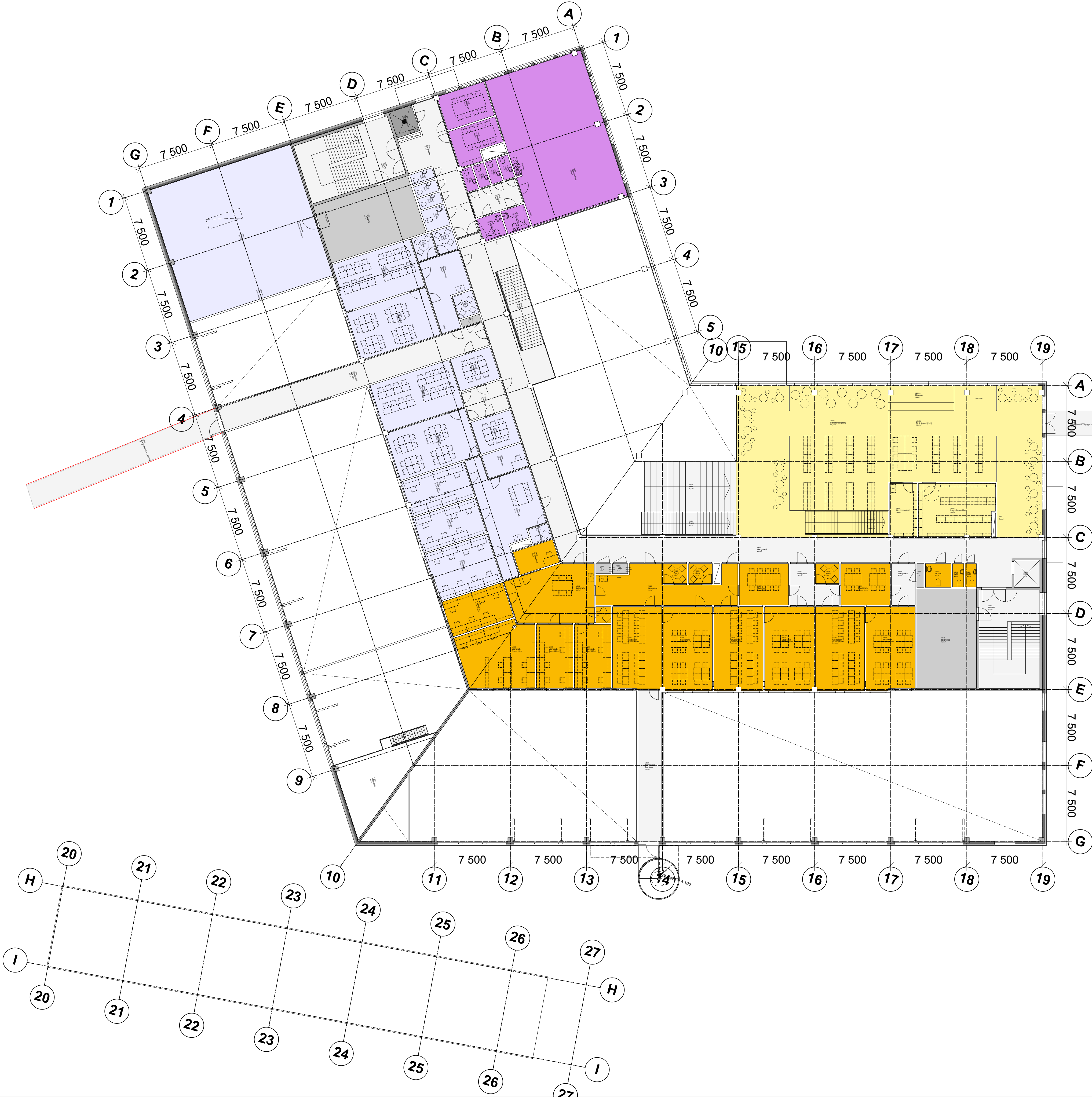
Fase:
3 DETALJPROSJEKT

Tittel:
BYGG V

Plan 1. etasje

Tegningsnummer:
 Prosjekt - Fag - Bygg - Type tegning - Lepenr. - Fase - Rev.
04.715-A-V-21.100-3





Tegningsnummer:
 Prosjnr. - Fag - Bygg - Type tegning - Lepnr. - Fase - Rev.
04.715-A-V-21.200-3

FARGEKODER FOR FAGOMRADER

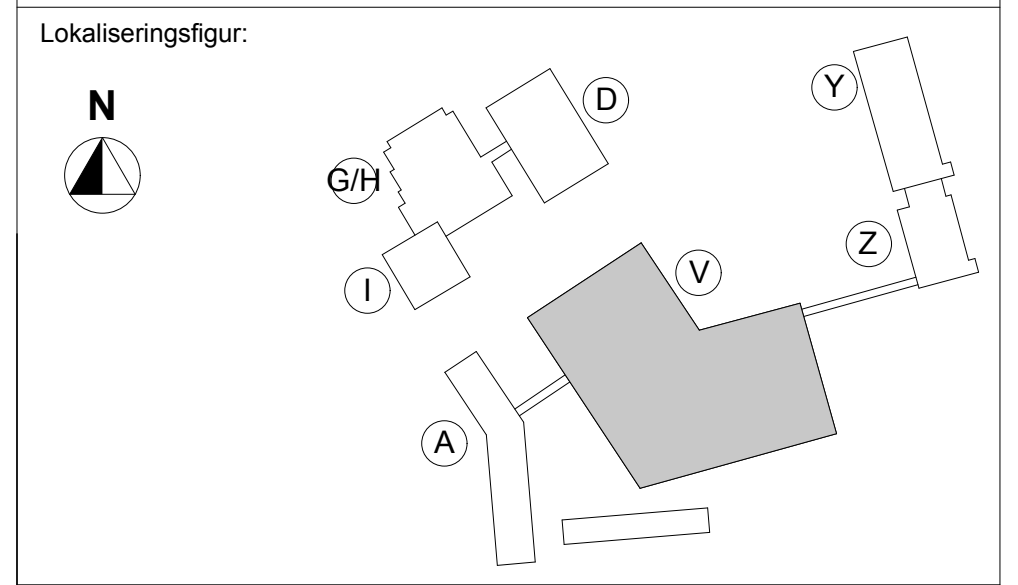
STUDEVERKSTED	HELSE OG SOSIALFAG
MUSIKK, DANS OG DRAMA	STUDIESPESIALISERENDE FAG
DESIGN OG HÅNDVERKSFAG	SPECIALOPPLÆRING
ELEKTROFAG	BYGG OG ANLEGGFAG
TEKNIKK OG INDUSTRIELL PRODUKSJON	FELLESMOMENT FOR OPPLÆRING
FELLESSERVICE ELEVER	LEDELSE OG PERSONALSERVICE
RESTAURANT OG MATFAG	TEKNISK DRIFT
SERVICE OG SAMFERDSEL	TEKNISK OMRÅDE

INFORMASJONSTEGNING
26.11.2012

-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

Fase Rev. Rev. Utløst: Date: Godkj.
 Revisjoner:

Tegningsnummer:
 Prosjnr. - Fag - Bygg - Type tegning - Lepnr. - Fase - Rev.
04.715-A-V-21.200-3



- Prosjekterende: (tegning utarbeidet av):
- ARK: OTTAR ARKITEKTER AS, Rosenborg gate 186, 0356 Oslo, tlf: 22 12 12 50
 - ARKITEKTKONTORET KVADRAT AS, Skanstad Kroghs veg 15E, 7021 Trondheim, tlf: 72 56 66 20
 - MULTICONSULT AS, Sluppenvegen 23, 7037 Trondheim, tlf: 72 59 31 80
 - SWECO AS, Professor Brochs gate 2, 7030 Trondheim, tlf: 73 83 35 00
 - SWECO AS, Professor Brochs gate 2, 7030 Trondheim, tlf: 73 83 35 00
 - LARK: GRINDAKER AS LANDSKAPSARKITEKTER, Kjøpmannsgate 1A, 0113 Oslo, tlf: 23 11 34 40
 - RIBR: RAMBOLL NORGE AS, Melhusveien 79, 7018 Trondheim, tlf: 73 84 10 00
 - RIA: CONIV AS, Oslo-Nordens vei 12, 7052 Trondheim, tlf: 02894

BYGGHERRE:
 NORDLAND FYLKESKOMMUNE
 V/ EIENDOMSSEKSJONEN
 FJELLSKJURET
 8048 BODØ
 tlf: 76 65 00 00
 e-post: post@nk.no

TOTALENTREPRENØR:
 HENT AS
 VESTRE ROSTEN 79
 7075 TULLER
 tlf: 72 80 17 00
 e-post: firmapost@hent.no

Prosjektnr., -navn, -lokalisering:
04.715 BODØ VGS.
NYBYGG OG REHABILITERING
 Torvgata, Bodø
 Gnr. 138 / Bnr. 3825 mfl.

Fase:
3 DETALJPROSJEKT

Tittel:
BYGG V
Plan 2. etasje

Tegningsnummer:
 Prosjnr. - Fag - Bygg - Type tegning - Lepnr. - Fase - Rev.
04.715-A-V-21.200-3

Tegn. av:	KN	Godkj.:	OKJ
Kontrollert:	OKJ	Godkj.:	OKJ
Dato:	01.09.2012	Målestokk:	1:200 (A1)
Filnavnreferanse: 04.715-A-V-21.200-3-Plan 2. etasje.dwg			

Tegningsnummer:
 Prosjnr. - Fag - Bygg - Type tegning - Lepetnr. - Fase - Rev.
04.715-A-V-21.300-3

FARGEKODER FOR FAGOMRADER

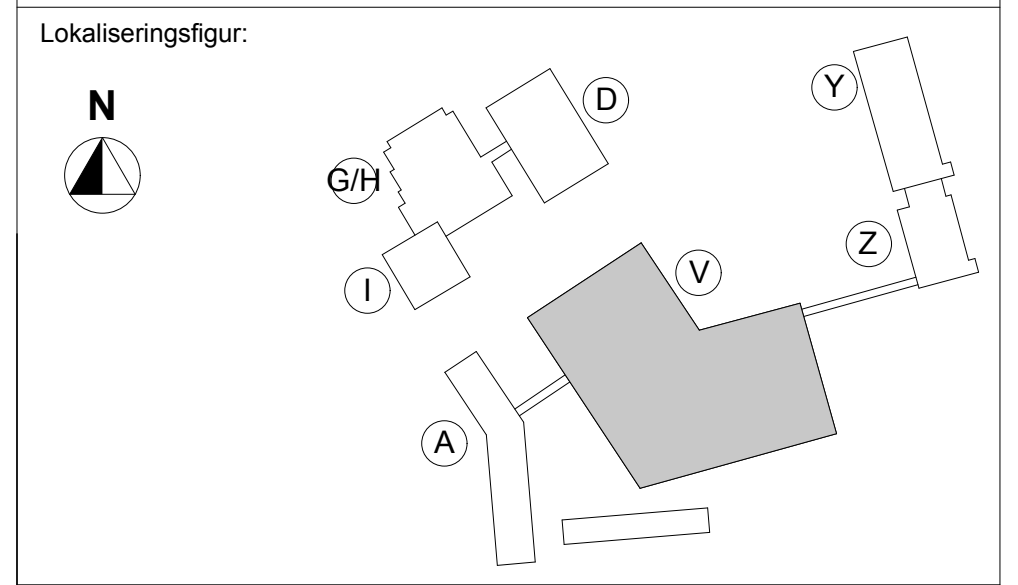
STUDEVÆRKSTED	HELSE- OG SOSIALFAG
MUSIKK, DANS OG DRAMA	STUDESPELISERENDE FAG
DESIGN OG HÅNDVERKSFAG	SPECIALOPPLÆRING
ELEKTROFAG	BYGG- OG ANLEGGFAG
TEKNIKK OG INDUSTRIELL PRODUKSJON	FELLESMRACE FOR OPPLÆRING
FELLESSERVICE ELEVER	LEDELSE OG PERSONALSERVICE
RESTAURANT OG MATFAG	TEKNISK DRIFT
SERVICE OG SAMFERDSEL	TEKNISK OMRADE

INFORMASJONSTEGNING
26.11.2012

-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

Fase Rev. Rev. Utløst: Date: Godkj.
 Revisjoner:

Tegningsnummer:
 Prosjnr. - Fag - Bygg - Type tegning - Lepetnr. - Fase - Rev.
04.715-A-V-21.300-3



- Prosjekterende: (tegning utarbeidet av):
- **ARK:** OTTAR ARKITEKTER AS, Rosenborg gate 166, 0356 Oslo, tlf: 22 12 12 50
 - **LARK:** GRINDAKER AS LANDSKAPSARKITEKTER, Kjøpmannsgate 7A, 0113 Oslo, tlf: 23 11 34 40
 - **ARKONFOR:** ARKITEKTONFOR T KVADRAT AS, Skarstei Kroghs veg 15E, 7021 Trondheim, tlf: 72 56 66 20
 - **RIB:** RAMBOLL NORGE AS, Melandsøya 79, 7018 Trondheim, tlf: 73 84 10 00
 - **RIB:** MULTICONSULET AS, Sluppenvegen 23, 7037 Trondheim, tlf: 72 59 31 80
 - **RIA:** CONIV AS, Oslo-Nordens vei 12, 7052 Trondheim, tlf: 02894
 - **RIV:** SWECO AS, Professor Brochs gate 2, 7030 Trondheim, tlf: 73 83 35 00
 - **RIE:** SWECO AS, Professor Brochs gate 2, 7030 Trondheim, tlf: 73 83 35 00

BYGGHERRE: NORDLAND FYLKESKOMMUNE, V/ EIENDOMSSEKSJONEN, FOLKESHUSET, 8048 BODØ, tlf: 76 65 00 00, e-post: post@nlf.no

TOTALENTREPRØR: HENT AS, VESTRE ROSTEN 79, 7075 TULLER, tlf: 72 90 17 00, e-post: firmapost@hent.no

Prosjektnr., -navn, -lokalisering:
04.715 BODØ VGS.
 NYBYGG OG REHABILITERING
 Torvgata, Bodø
 Gnr. 138 / Bnr. 3825 mfl.

Fase:
3 DETALJPROSJEKT

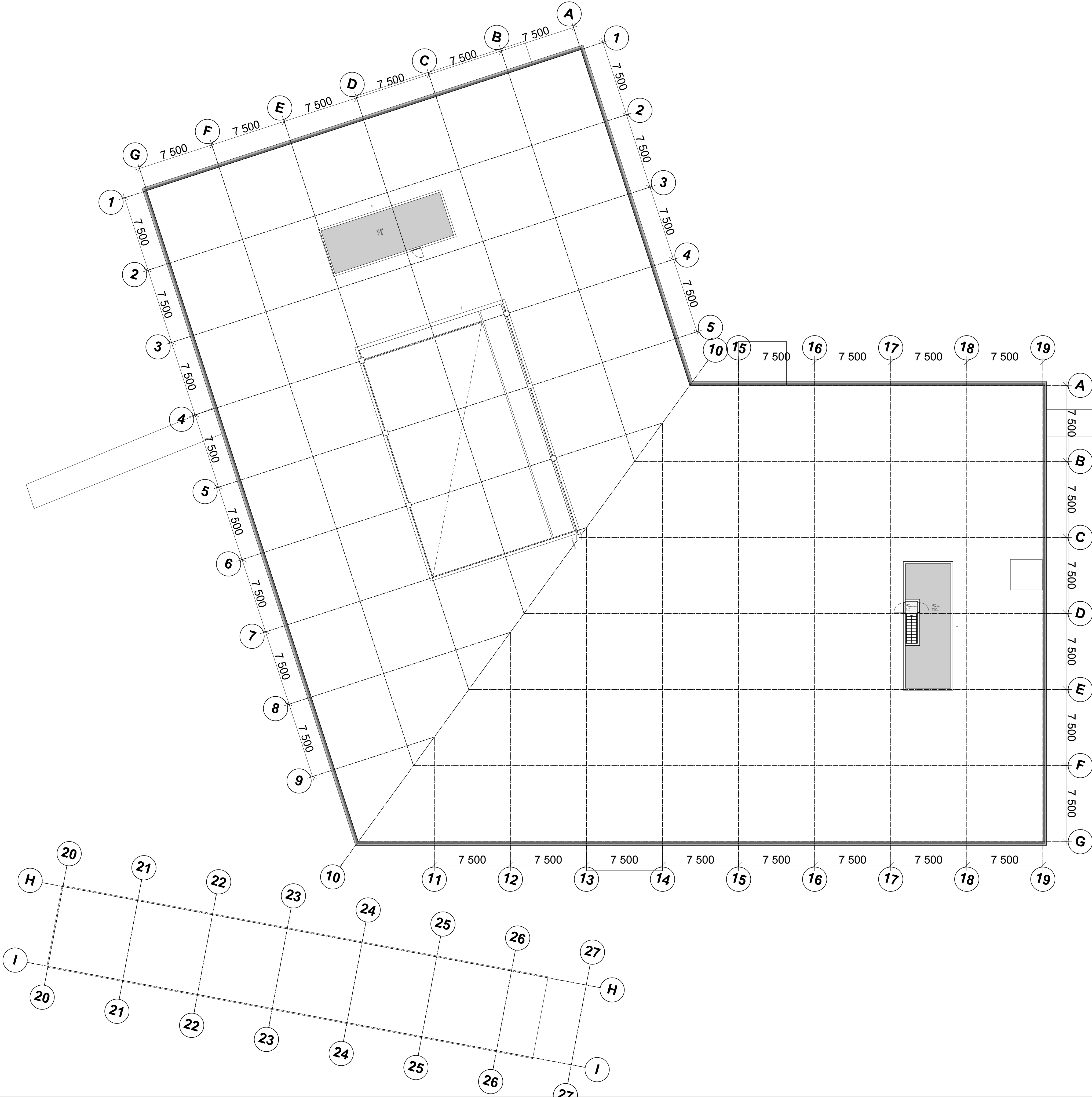
Tittel:
BYGG V

Plan 3. etasje

Tegningsnummer:
 Prosjnr. - Fag - Bygg - Type tegning - Lepetnr. - Fase - Rev.
04.715-A-V-21.300-3

Tegn. av:	KN	Godtj.:	OKJ
Kontrollert av:	OKJ	Godtj.:	OKJ
Dato:	01.09.2012	Målestokk:	1:200 (A1)
Filnavnreferanse: 04.715-A-V-21.300-3-03			





Tegningsnummer:
 Prosjnr. - Fag - Bygg - Type tegning - Lepntr. - Fase - Rev.
04.715-A-V-21.400-3

FARGEKODER FOR FAGOMRADER

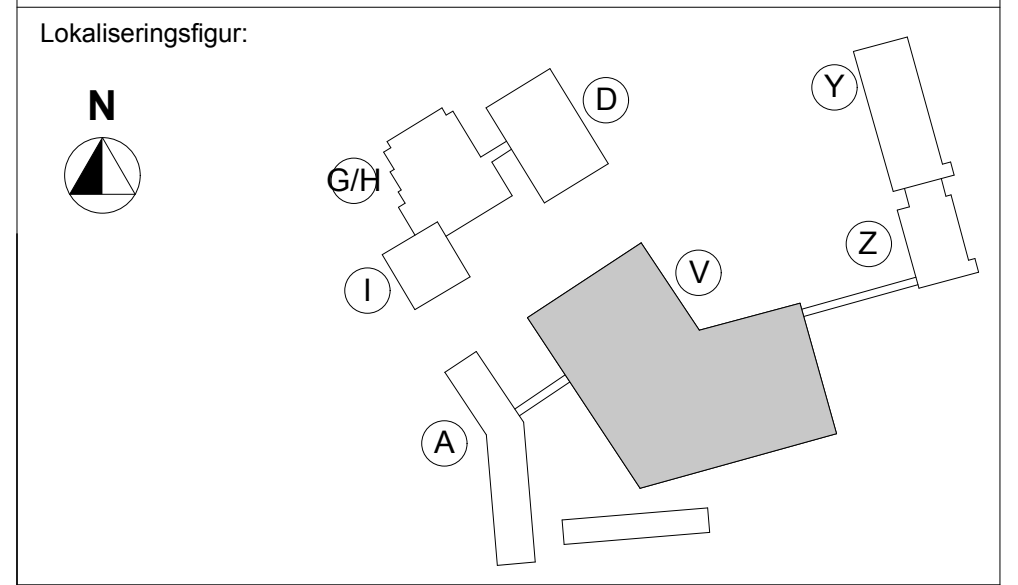
STUDEVÆRSTED	HELSE OG SOSIALFAG
MUSIKK, DANS OG DRAMA	STUDIESPESIALISERENDE FAG
DESIGN OG HÅNDVERKSFAG	SPECIALOPPLÆRING
ELEKTROFAG	BYGG OG ANLEGGFAG
TEKNIKK OG INDUSTRIELL PRODUKSJON	FELLESOMRÅDE FOR OPPLÆRING
FELLESERVICE ELEVER	LEDELSE OG PERSONALSERVICE
RESTAURANT OG MATFAG	TEKNIKK DRIFT
SERVICE OG SAMFERDSEL	TEKNIKK OMRADE

INFORMASJONSTEGNING
26.11.2012

-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-

Fase Rev. Rev. Utført: Date: Godkj.
 Revisjoner:

Tegningsnummer:
 Prosjnr. - Fag - Bygg - Type tegning - Lepntr. - Fase - Rev.
04.715-A-V-21.400-3



- Prosjekterende: (tegning utarbeidet av):
- **ARK:** OTTAR ARKITEKTER AS
 Rosenborg gate 186, 0356 Oslo
 tlf: 22 12 12 50
 - **LARK:** GRINDAKER AS LANDSKAPSARKITEKTER
 Kjøpmannsgate 1A, 0113 Oslo
 tlf: 23 11 34 40
 - **ARK:** ARKITEKTONISKE KVADRAT AS
 Skjerve Kroghs veg 15E, 7021 Trondheim
 tlf: 72 56 66 20
 - **RIB:** RAMBOLL NORGE AS
 Melhusveien 79, 7018 Trondheim
 tlf: 73 84 10 00
 - **RIB:** MULTICONSULT AS
 Sluppenvegen 23, 7037 Trondheim
 tlf: 72 59 31 80
 - **RIA:** COVA AS
 Oslo-Nesens vei 12, 7052 Trondheim
 tlf: 02894
 - **RIV:** SWECO AS
 Professor Brochs gate 2, 7030 Trondheim
 tlf: 73 83 35 00
 - **RIE:** SWECO AS
 Professor Brochs gate 2, 7030 Trondheim
 tlf: 73 83 35 00

BYGGHERRE:
 NORDLAND FYLKESKOMMUNE
 V/ EIENDOMSSEKSJONEN
 FOLKESKURET
 8048 BODØ
 tlf: 76 65 00 00
 e-post: post@nk.no

TOTALENTREPRØR:
 HENT AS
 VESTRE ROSTEN 79
 7075 TILDER
 tlf: 72 90 17 00
 e-post: firmapost@hent.no

Prosjektnr., -navn, -lokalisering:
04.715 BODØ VGS.
NYBYGG OG REHABILITERING
 Torvgata, Bodø
 Gnr. 138 / Bnr. 3825 mfl.

Fase:
3 DETALJPROSJEKT

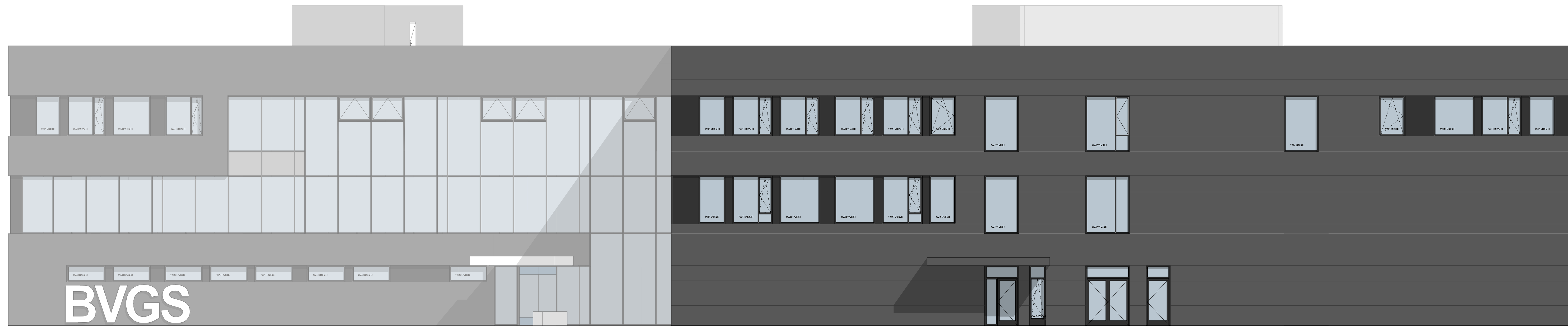
Tittel:
BYGG V
Plan 4. etasje

Tegningsnummer:
 Prosjnr. - Fag - Bygg - Type tegning - Lepntr. - Fase - Rev.
04.715-A-V-21.400-3

Tegn. av:	KN	Godkj.:	OKJ
Kontrollert:	OKJ	Godkj.:	OKJ
Dato:	01.09.2012	Målestokk:	1:200 (A1)
Filnavnreferanse: 04.715-A-V-21.400-3-Plan 4. etasje.dwg			



BYGG V - FASADE NORD



BYGG V - FASADE NORDVEST



BYGG V - FASADE NORDØST

Tegningsnummer:
 Prosjekt - Fase - Bygg - Type tegning - Levert - Fase - Rev.
04.715-A-V-42.001-3

MATERIALER & FARGER - FASADER

- PRIMÆR FASADEPLATE**
 Grå / mørk grå, semi matt, gjennomfarget fibersementplate
 Transparent toppstrøk (hydrolobiert, anti-graffiti)
 Ulike former, kontinuerlige horisontale fuger

- SEKUNDÆR FASADEPLATE**
 Mørkere nyanse av grå / mørk grå, høyere glans, gjennomfarget eller matt fibersementplate
 Transparent toppstrøk (hydrolobiert, anti-graffiti < 3 m).
 Beryttes i tittelt og evt.

- BEISET TREVERK (PANEL)**
 Beryttes i begrenset grad. Som element i fasade i 1. etg.
 I skrytning til felt med porter til verksteder. Helling
 skjermtak og hovedinngang. Evt treverk i rammer på
 åpningfelt i aluminiumsfasade bakkopling. (IKKE FERDIG
 UTREDET)

- ALUKAPPE VINDUER OG YTTERDØRER ALUMINIUM**
 RAL-lakkert mørkere nyanse av grå / mørk grå. Tilsvarende
 grånyanse i sekundær fasadeplate. Mulighet for innslag av
 farger ved f.eks annen RAL-kode på alukappe åpningfeltet
 på enkelte vindu.

- FELT MED LEDDPORTER OG YTTERDØRER (ALU.)**
VERKSTEDHALLER
 RAL-lakkert lysere nyanse av grå. Alternativt vurderes en
 sterk primær- / sekundærfarge. (IKKE FERDIG
 UTREDET)

- VOLUMER PÅ TAK (TEKN. ROM, AUDITORIUM)**
 Fasadeplater, matt fibersement.

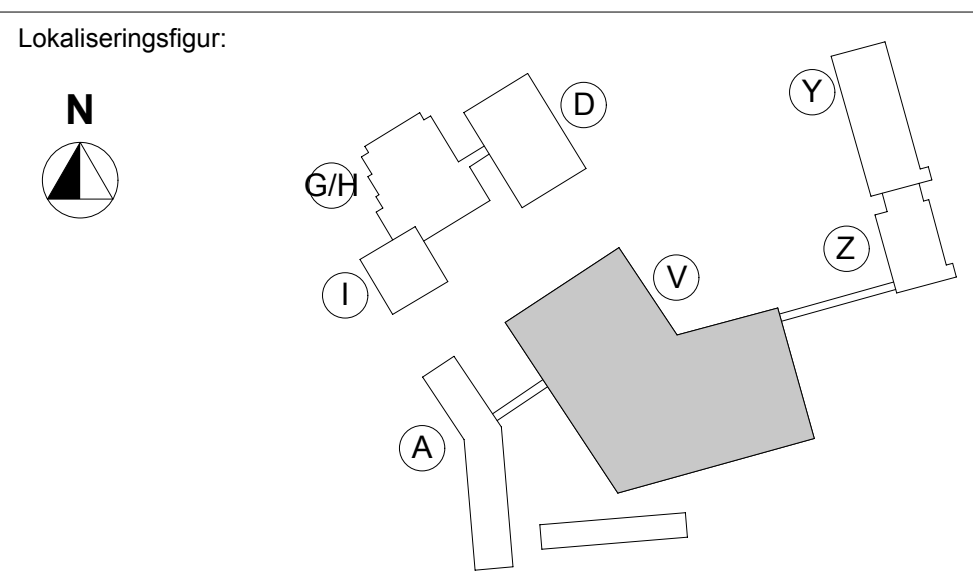
- ALUMINIUMSFASADE**
 RAL-lakkerte profiler, Grå / mørk grå.

FORELØPIG TEGNING
 19.11.12

Fase	Rev.	Rev.	Utsatt	Dato	Gjort
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Revisjoner:

Tegningsnummer:
 Prosjekt - Fase - Bygg - Type tegning - Levert - Fase - Rev.
04.715-A-V-42.001-3



- Prosjekterende: (tegning utført av):
- ARK:** STREK/ARKITEKTUR AS
 Akersveigata 18B, 0308 Oslo
 tlf: 22 12 12 00
 ark@strekarkitektur.no
 - LARK:** LINDHEIM/ARKITEKTUR AS
 Brynsevegata 1A, 0313 Oslo
 tlf: 22 12 12 00
 - RB:** RIBBE, RIBBE AS
 Skarvågen 10B, 1521 Trondheim
 tlf: 73 45 91 00
 - RI:** RIBBE, RIBBE AS
 Skarvågen 10B, 1521 Trondheim
 tlf: 73 45 91 00
 - RI:** RIBBE, RIBBE AS
 Skarvågen 10B, 1521 Trondheim
 tlf: 73 45 91 00
 - RI:** RIBBE, RIBBE AS
 Skarvågen 10B, 1521 Trondheim
 tlf: 73 45 91 00
 - RI:** RIBBE, RIBBE AS
 Skarvågen 10B, 1521 Trondheim
 tlf: 73 45 91 00

BYGGHERRE:
 NORDLAND FJELLKOMMUNE
 VEIENDEKORPUSJEN
 PÅNDØRSTAD
 8046 BODØ
 tlf: 75 90 11 00
 e: post.post@fjell.no

TOTALENTREPRENØR:
 HEMT AS
 VESTRE RUSTEN 19
 1018 KJELLER
 tlf: 72 90 11 00
 e: post@hemt.no

Prosjekt nr.: 04.715 - lokalisering
04.715 BODØ VGS.
 NYBYGG OG REHABILITERING
 Tomtegt. 138
 Gnr. 138 / Bnr. 3825 mfl.

Fase:
3 DETALJPROSJEKT

Tittel:
BYGG V
Fasader nord-nordvest-nordøst

Tegningsnummer:
 Prosjekt - Fase - Bygg - Type tegning - Levert - Fase - Rev.
04.715-A-V-42.001-3



BYGG V - FASADE SYD



BYGG V - FASADE SYDVEST



BYGG V - FASADE ØST

Tegningsnummer:
 04.715-A-V-42.002-3

MATERIALER & FARGER - FASADER

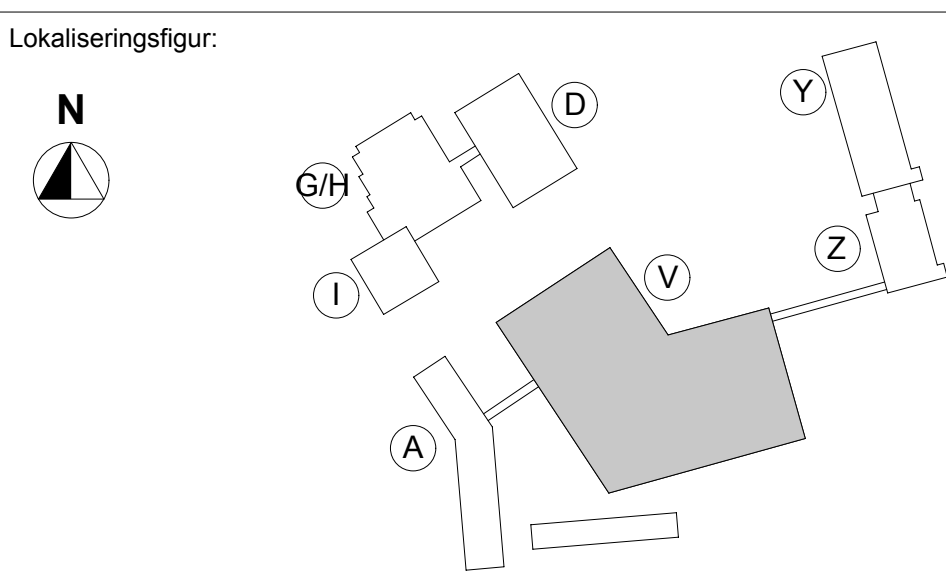
- PRIMER FASADEPLATE**
 Grå / mørk grå, semi matt, gjennomfarget fibersementplate
 Transparent toppstrøk (hydrofobert, anti-graffiti)
 Ulike former, kontinuerlige horisontale fuger
- SEKUNDÆR FASADEPLATE**
 Mørkere nyanse av grå / mørk grå, høyere glans, gjennomfarget eller matt fibersementplate
 Transparent toppstrøk (hydrofobert, anti-graffiti < 3 m).
 Beryttes i tittelt og evt.
- BEISET TREVERK (PANEL)**
 Beryttes i begrenset grad. Som element i fasade i 1. etg.
 i skrytning til felt med porter til verksteder. Helling
 skjermtak og hovedringning. Evt treverk i rammer på
 åpningstelt aluminiumfasade bakkoplan. (IKKE FERDIG
 UTREDET)
- ALUKAPPE VINDUER OG YTTERDØRER ALUMINIUM**
 RAL-lakkert mørkere nyanse av grå / mørk grå. Tilsvarende
 grånyanse i sekundær fasadeplate. Mulighet for innslag av
 farger ved f.eks annen RAL-lakke på alukappestrekket på
 enkelte vindu.
- FELT MED LEDDPORTER OG YTTERDØRER (ALU.)**
VERKSTEDHALLER
 RAL-lakkert lysere nyanse av grå. Alternativt vurderes en
 sterk primær- / sekundærfarge. (IKKE FERDIG
 UTREDET)
- VOLUMER PÅ TAK (TEKN. ROM, AUDITORIUM)**
 Fasadeplater, matt fibersement.
- ALUMINIUMSFASADE**
 RAL-lakkerte profiler, Grå / mørk grå.

FORELØPIG TEGNING
 19.11.12

-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Fase	Rev.	Rev.	Utsatt	Dato	Godt.
Revisjoner:					

Tegningsnummer:
 04.715-A-V-42.002-3



- Prosjekterende: (tegning utført av):
- ARK:** STREKARKITEKTUR AS
 Alversgt. 18B, 038 Oslo
 Tlf: 22 12 12 12 / 22 12 12 12
 ark@strekarkitektur.no
 - RB:** MULTIRUMS T AS
 Skjervegt. 27, 7021 Trondheim
 Tlf: 72 50 35 35
 - RW:** SINECO AS
 Trondheim Brønn gate 2, 7020 Trondheim
 Tlf: 72 50 35 35
 - RE:** SINECO AS
 Trondheim Brønn gate 2, 7020 Trondheim
 Tlf: 72 50 35 35
 - LARK:** GRENSEKANT AS LANDSKAPSARKITEKTER
 Brønnegate 1A, 0118 Oslo
 Tlf: 22 12 12 12
 - RI:** RABBIT, MØRDE AS
 Skjervegt. 27, 7021 Trondheim
 Tlf: 72 50 35 35
 - RIAL:** COMAS AS
 Skjervegt. 27, 7021 Trondheim
 Tlf: 72 50 35 35

BYGGHERRER:
 NORDLAND FILMKOMMUNE
 VEIENHVERVET
 8048 BODØ
 tlf: 72 50 35 35
 epost: post@nlf.no

TOTALENTREPRENØR:
 HEMT AS
 VEIENHVERVET 19
 8048 BODØ
 tlf: 72 50 35 35
 epost: h@hemt.no

Prosjekt nr.: - - - - -
04.715 BODØ VGS.
NYBYGG OG REHABILITERING
 Tomtegt. 300a
 Gnr. 138 / Bnr. 3825 mfl.

Fase:
3 DETALJPROSJEKT

Tittel:
BYGG V
Fasader syd-sydvest-øst

Tegningsnummer:
 04.715-A-V-42.002-3

Tegnet av:	OKJ	Opprisset av:	OKJ
Revidert av:	OKJ	Opprisset av:	OKJ
Revidert av:	OKJ	Opprisset av:	OKJ

Skala:
 1:100, 1:50 (A0)

Inndata Simien

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	2177	
Areal tak [m ²]:	4603	
Areal gulv [m ²]:	4603	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	1676	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	11009	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	57500	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,17	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,13	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,07	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,00	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	15,2	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	102	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,10	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	75	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	75,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,00	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	10,5	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	3,0	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	1,66	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	19,8	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	22,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	10,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	10,0	
Driftstid belysning (timer)	10,0	
Driftstid utstyr (timer)	10,0	
Oppholdstid personer (timer)	10,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	10,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	10,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	6,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	6,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	1,90	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	12,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,27	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	1,00	

Evaluering av prosjekt, opp mot TEK-10.



SIMIEN

Evaluering TEK 10

Simuleringsnavn: Evaluering
Tid/dato simulering: 10:12 7/12-2012
Programversjon: 5.014
Brukernavn: Student
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: C:\...\Bodø vid skole VARMPEPUMPE-110kWhHOS_HENT.smi
Prosjekt: Bodø vid skole
Sone: Alle soner

Resultater av evalueringen

Evalueringsav	Beskrivelse
Energiltak	Bygningen tilfredsstill ikke kravene til energiltak i paragraf §14-3 (1)
Varmetapsramme	Bygningen tilfredsstill omfordeling energiltak (varmetapstall) ihht. §14-3 (3)
Energiramme	Bygningen tilfredsstill energirammen ihht. §14-4
Minstekrav	Bygningen tilfredsstill minstekravene i §14-5
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstill minstekrav gitt i NS3031:2010 (tabell A.6)
Energiforsyning	Bygningen tilfredsstill krav til energiforsyning i §14-7
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstill byggeforskriftenes energikrav

Energiltak (§14-3 (1))

Beskrivelse	Verdi	Krav
Samlet glass-, vindus og dørareal delt på bruksarealet [%]	15,2	20,0
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,17	0,18
U-verdi tak [W/m ² K]	0,13	0,13
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,07	0,15
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	1,00	1,20
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0,06	0,06
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	1,10	1,50
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	75	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,00	2,00



Simuleringsnavn: Evaluering
Tid/dato simulering: 10:12 7/12-2012
Programversjon: 5.014
Brukernavn: Student
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: C:\...\Bodø vid skole VARMPEPUMPE-110kWhHOS_HENT.smi
Prosjekt: Bodø vid skole
Sone: Alle soner

Omfordeling energiltak (§14-3 (2), varmetapstall)

Beskrivelse	Verdi	Krav
Varmetapstall yttervegger	0,03	0,03
Varmetapstall tak	0,05	0,05
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,03	0,06
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,15	0,24
Varmetapstall kuldebroer	0,06	0,06
Totalt varmetapstall	0,33	0,44

Energiramme (§14-4, samlet netto energibehov)

Beskrivelse	Verdi
1a Beregnet energibehov romoppvarming	13,9 kWh/m ²
1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier)	27,2 kWh/m ²
2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann)	10,1 kWh/m ²
3a Beregnet energibehov vifter	17,8 kWh/m ²
3b Beregnet energibehov pumper	0,7 kWh/m ²
4 Beregnet energibehov belysning	22,1 kWh/m ²
5 Beregnet energibehov teknisk utstyr	13,3 kWh/m ²
6a Beregnet energibehov romkjøling	0,0 kWh/m ²
6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0,0 kWh/m ²
Totalt beregnet energibehov, sum 1-6	104,9 kWh/m ²
Forskriftskrav netto energibehov	120,0 kWh/m ²



SIMIEN

Evaluering TEK 10

Simuleringsnavn: Evaluering
Tid/dato simulering: 10:12 7/12-2012
Programversjon: 5.014
Brukernavn: Student
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: C:\...\Bodø vid skole VARMPEPUMPE-110kWhHOS_HENT.smi
Prosjekt: Bodø vid skole
Sone: Alle soner

Minstekrav (§14-5)			
Beskrivelse		Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m ² K]		0,17	0,22
U-verdi tak [W/m ² K]		0,13	0,18
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]		0,07	0,18
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]		1,00	1,60
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]		1,10	3,00
Varmetapstall glass/vinduer/dører		0,15	0,24

Krav til solfaktor for solutsatte fasader

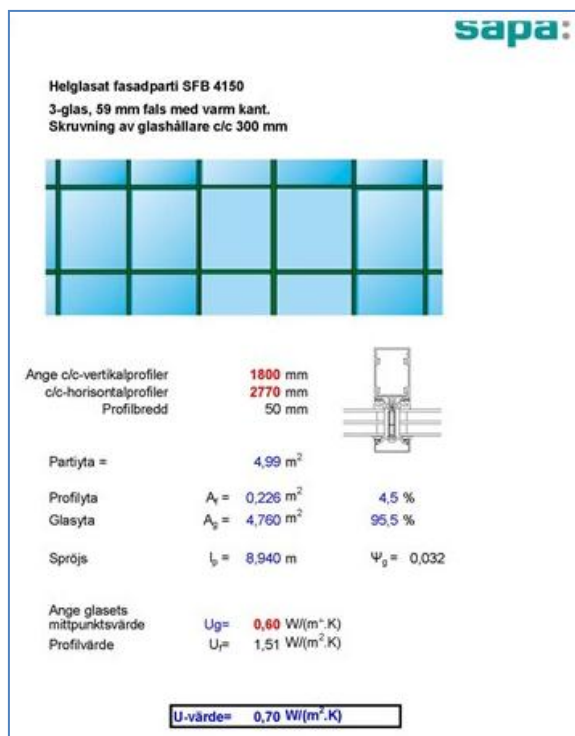
Kravet til total solfaktor for vinduer/solskjerming på solutsatte fasader er ikke en del av evalueringen i SIMIEN.
Der dette er aktuelt må det dokumenteres separat.

Energiforsyning (§14-7)

Beskrivelse		Verdi	Krav
Andel av varmebehovet som dekkes av annet enn direkte elektrisitet og fossile brensler		100 %	60 %
Oljekjel som grunnlast		Nei	Nei

Vurdering og beregning av U-verdi i glassfasade.

I tillegg til å legge ved utregningene utført av Sapa Buildingsystem viser vi også en figur med beregningen av U-verdi av glassfasade. I denne figuren kan en se hensynet som blir tatt av materialet i fasaden og kuldebroverdien som oppstår. Verdiene i oversikten er omtrent like som for vårt fasadesystem.



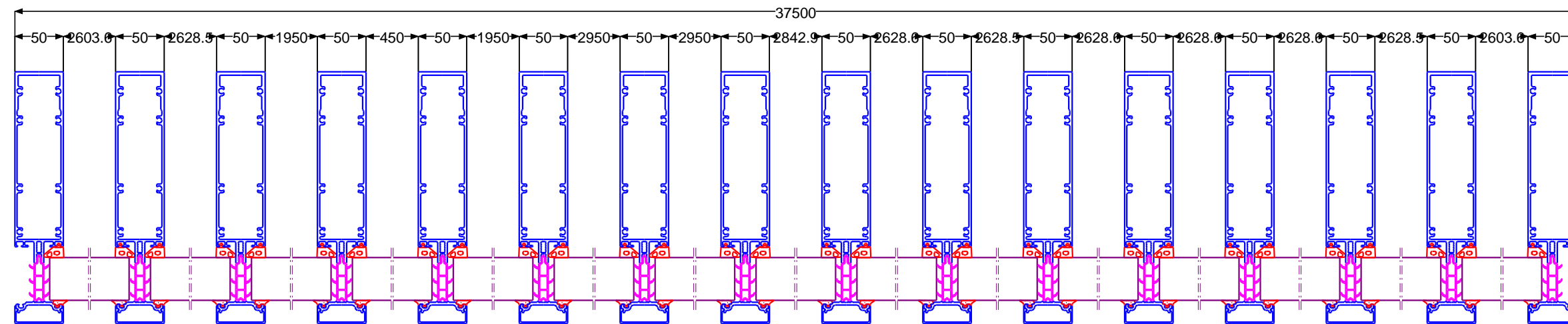
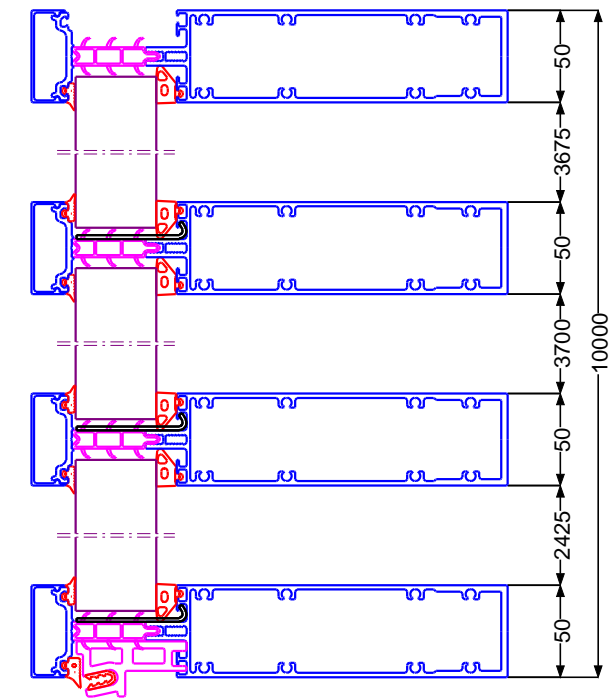
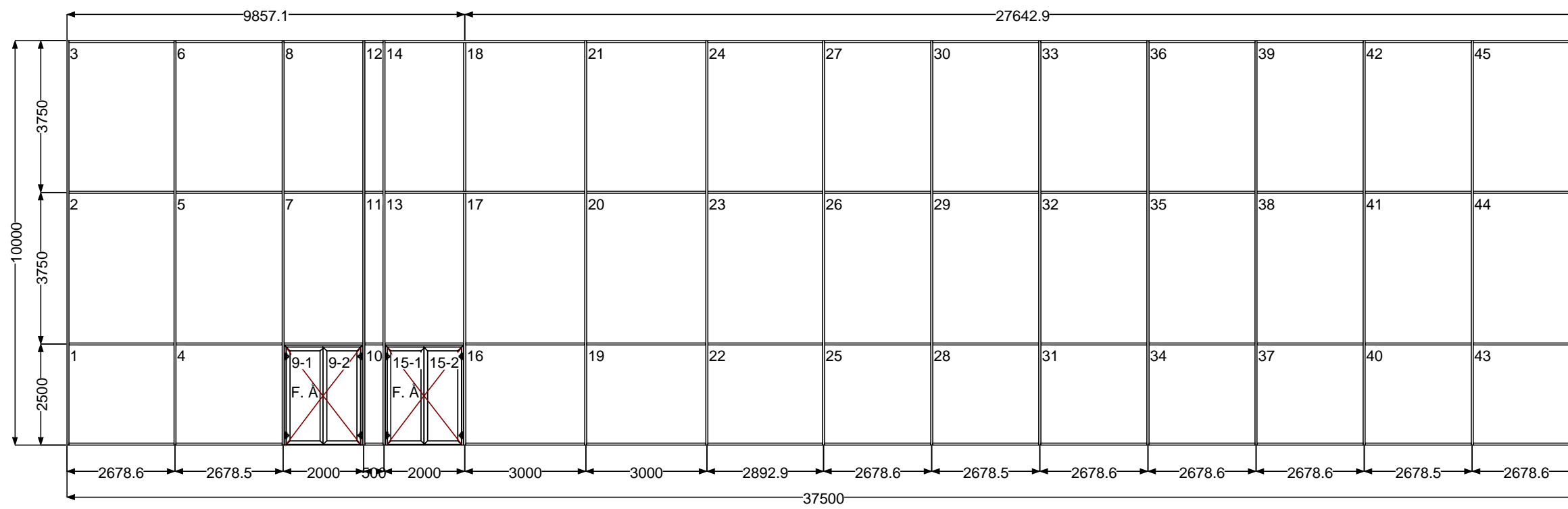
Nedenfor er det vist et utdrag fra Pilkington sin brosjyre for energiserien Optitherm S3. En ser her forskjellen fra to- og tre-lags glass og endringen ved bruk av argon og kryptongass.

Produktnavn Produktkode	Type	Ytelses- kode U/LT/TST med argon	Termiske ytelser		
			U-verdi Luft W/m ² K	Argon W/m ² K	Krypton W/m ² K
Pilkington Optitherm S3 - energisparende glass					
4-9-(S3)4	To-lags	1,6/80/61	1,9	1,6	1,0
4-12-(S3)4	To-lags	1,3/80/61	1,6	1,3	1,1
4-15-(S3)4	To-lags	1,1/80/61	1,4	1,1	1,1
6-15-(S3)4	To-lags	1,1/79/59	1,4	1,1	1,1
6-15-S(3)6,4L*	To-lags	1,1/78/59	1,4	1,1	1,1
6(S3)-15-4	To-lags	1,1/79/57	1,4	1,1	1,1
4-12-4-12-(S3)4	Tre-lags	1,0/72/56	1,3	1,0	0,8
4(S3)-12-4-12-4	Tre-lags	1,0/72/54	1,3	1,0	0,8
6-12-4-12-(S3)4	Tre-lags	1,0/71/53	1,3	1,0	0,8
4-9-4-15-(S3)4	Tre-lags	0,9/72/55	1,1	0,9	0,8
4(S3)-12-4-12-(S3)4	Tre-lags	0,7/71/50	0,9	0,7	0,5
4+35+4-12-(S3)4	1+2	1,0/72/56	1,2	1,0	0,8

S3 i tabellen står for at det er energibelegg på glasset. I vårt tilfelle vil produktet 4(S3)-12-4-12-4(S3) være aktuelt. Hvordan U-verdien endres ut ifra tykkelse mellom glassene er vist i den nederste tabellen. Profilene i glassfasaden vil kunne tilpasses den tykkelsen på glasset som er ønsket.

På de neste sidene kommer beregningen Sapa utførte for vårt eksempel.

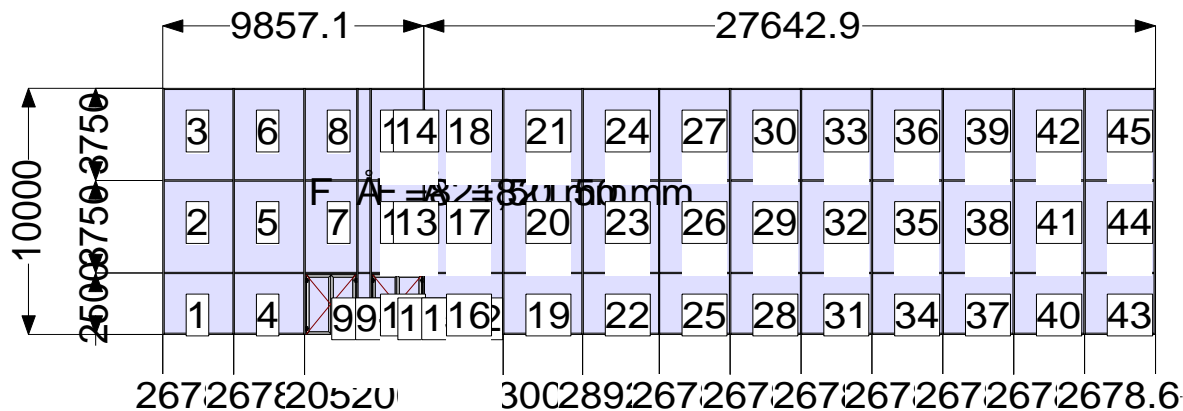
Tykkelse mellom glass:	U-verdi:
12mm (som i tabellen over)	0,7 W/m ² K
14mm	0,6 W/m ² K
18mm	0,5 W/m ² K



sapa:
buildingsystem

Prosjekt nr: N3630 Bodø VGS v UMB-01	Prosjektnavn:
Kunde:	
Pos. nr: 1	Systemer: SFB 4150
Pos. navn: Produkt 001	Utv. farge: Naturanodisert
Antall: 1	Inv. farge: Naturanodisert
Dato: 05.11.2012 11:13	Rev.dato: 05.11.2012 11:27
Fremstiller: Jardar Kilsti Norden	Print dato: 05.11.2012 00:00

N3630 Bodø	Produkt 001	Sapa Building
------------	-------------	---------------



System	4150SX,074	Antall	1
Revisjon:	05.11.2012 11:30	Farge	NATUR
Fremstiller	Jardar Kilsti Norden		

Beregningsforutsetninger:

Beregningene følger standarden NS-EN ISO 10077-1/2 og Uf-verdien for den enkelte profil og profilkombinasjon er beregnet av Sapa Building System med programvaren BISCO Prinsippene, inngangsverdien og resultatet er kontrollregnet og sammenlignet for utvalgte deler av systemene av SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (Rapport P800246). Linjære faktorer for glass og fyllinger, psi, er i første rekke manuelt beregnet da disse påvirkes av systemvalg, tykkelse på glass og fyllinger og av type spacer. Kun der hvor verdier ikke finnes benyttes defaultverdier i henhold til standard. For fasadesystemene er skrueinnfestinger av glassholdere og tilsvarende beregnet etter standard NS-EN 13947.

Beregningsresultat:

Varmegjennomgangskoeffisient Uw:	0,71 W/m ² K
Beregningsoverflate:	374,84 m ²
Glass og fyllinger redegjøres separat	Glassandel 95,2 %

Brukeren av opplysninger er ansvarlig for kontroll av fremstillingen.

Tegninger detaljer av konstruksjoner og tilslutninger.

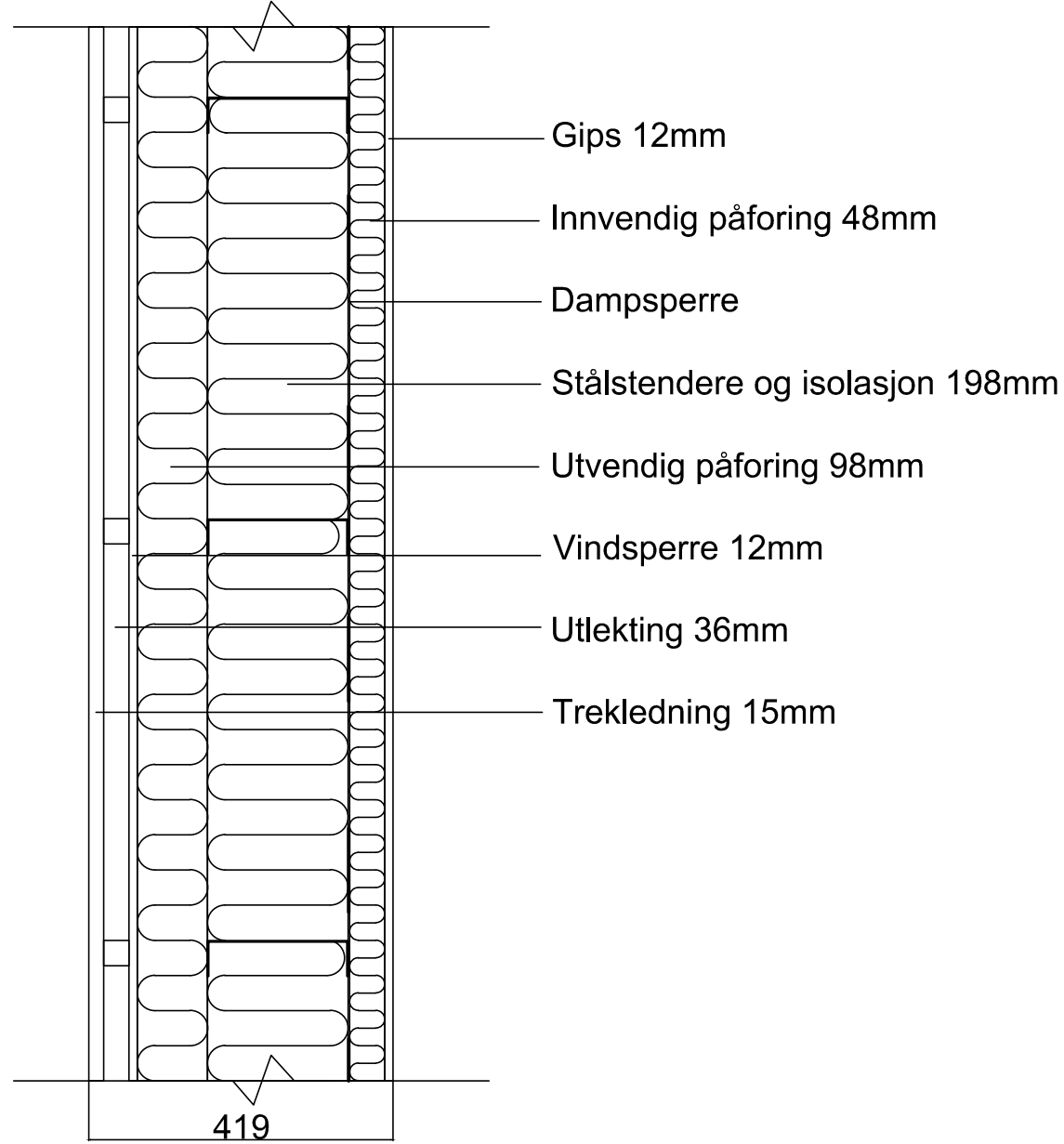
Tegningsliste

Prosjekt nr.:	Prosjektnavn:	Dato:	Sign.:
1	Byggtekniske utfordringer ved å bygge Bodø vgs. som passivhus.	07.12.2011	Ragnhild/Lars.

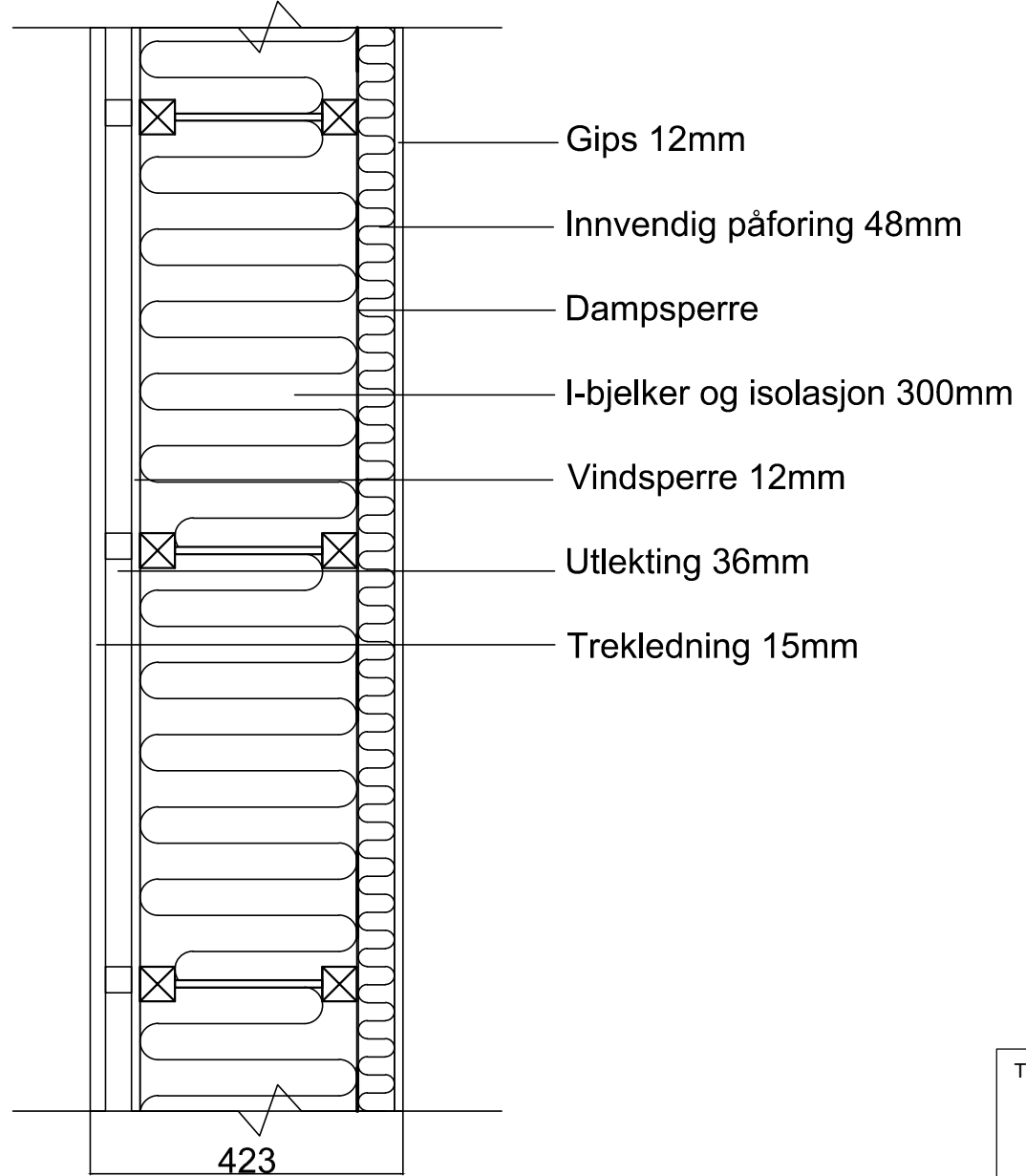
Nr.ID *	Navn	Type	Arkformat	Målestokk
01	Veggtyper 1	Detaljtegning	A3	1:10
02	Veggtyper 2	Detaljtegning	A3	1:10
03	Dobbelt stenderverk	Detaljtegning	A4	1:10
04	Tak	Detaljtegning	A4	1:10
05	Gulv hoveddel	Detaljtegning	A4	1:10
06	Gulv verksted	Detaljtegning	A4	1:10
07	Gesims	Detaljtegning	A4	1:10
08	Etasjeskille	Detaljtegning	A4	1:10
09	Grunnmur 1	Detaljtegning	A4	1:20
10	Grunnmur 2	Detaljtegning	A4	1:20
11	Hjørne	Detaljtegning	A4	1:10
12	Port	Detaljtegning	A4	1:10
13	Port innfesting	Detaljtegning	A4	1:5

Horisontale snitt

Yttervegg med stålstendere

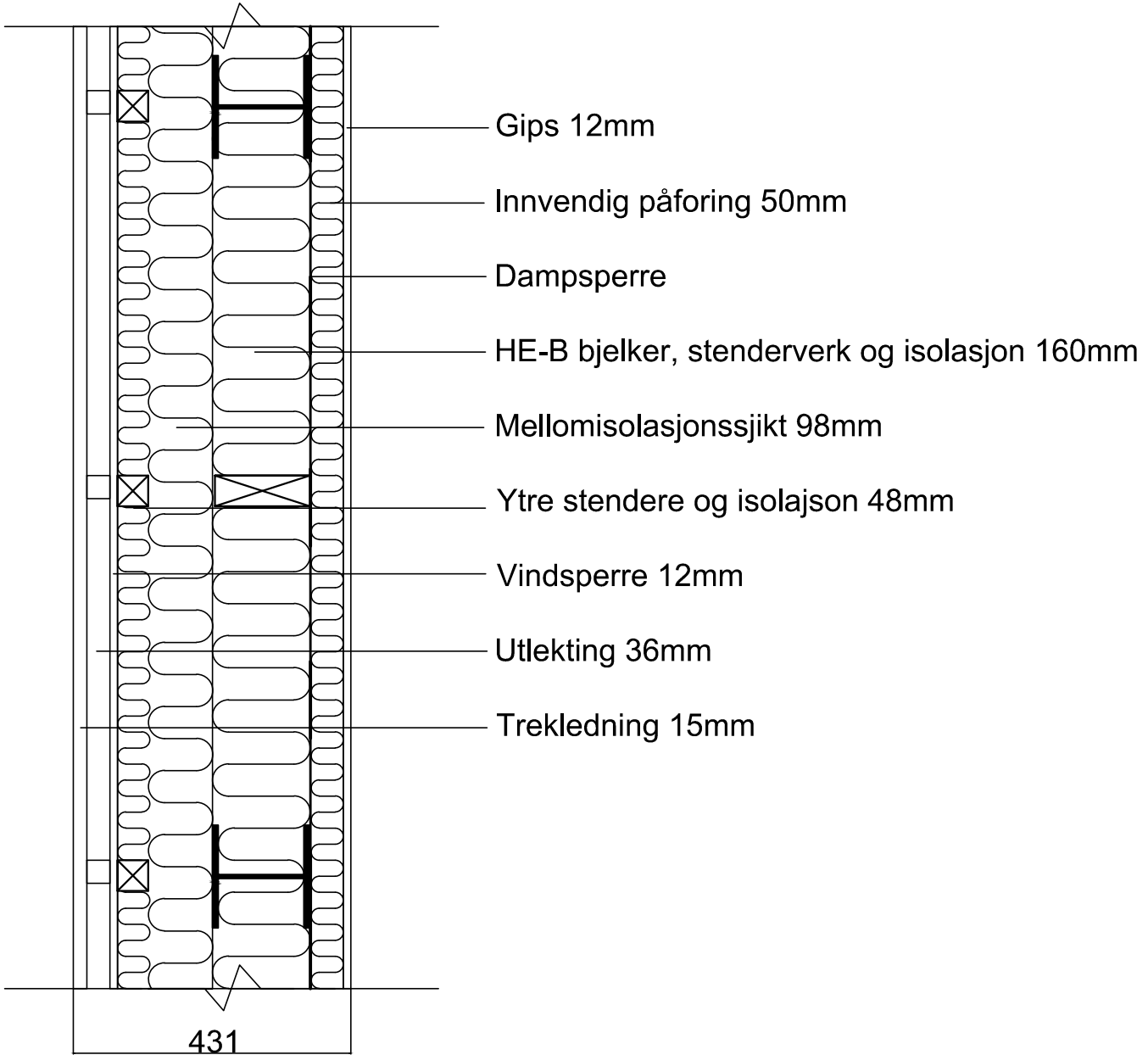


Yttervegg med I-bjelke

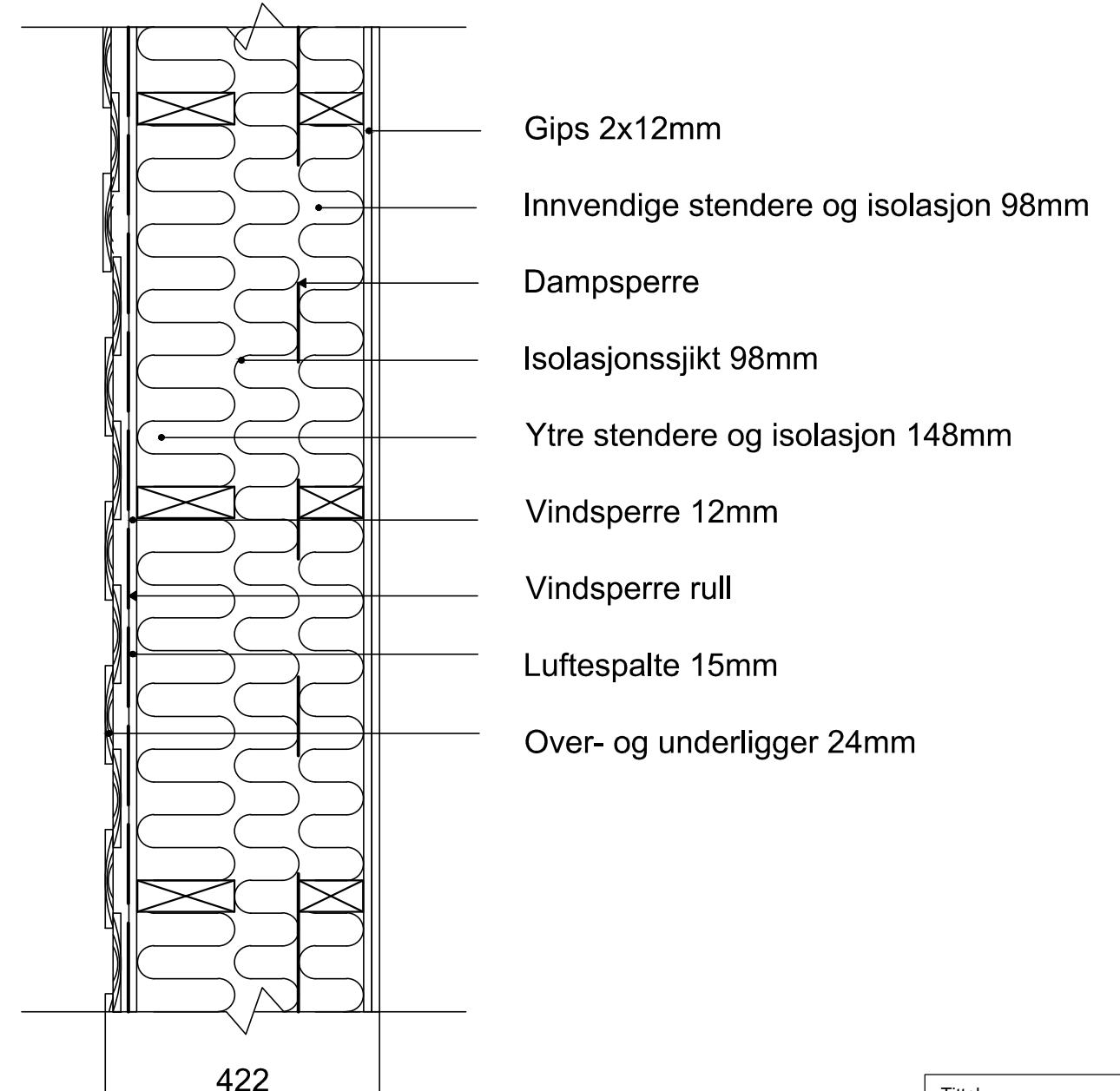


Tittel: Veggtyper	
Målestokk: 1:10	Tegningnr.: 01
Dato: 17.10.12	Sign: R.S

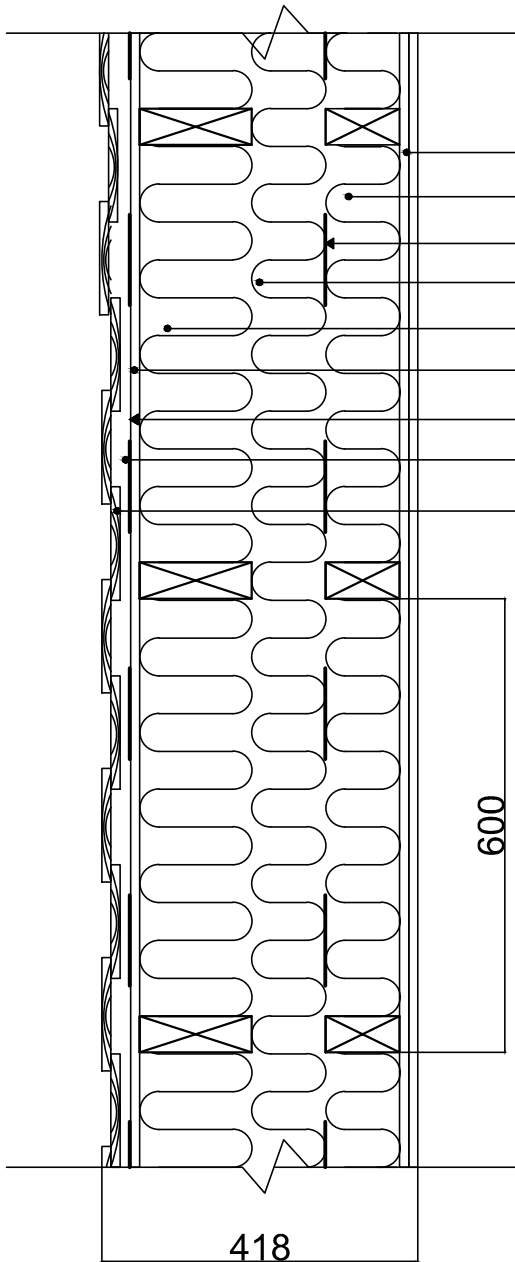
Yttervegg med bærende stålsøyle



Yttervegg med dobbelt stenderverk

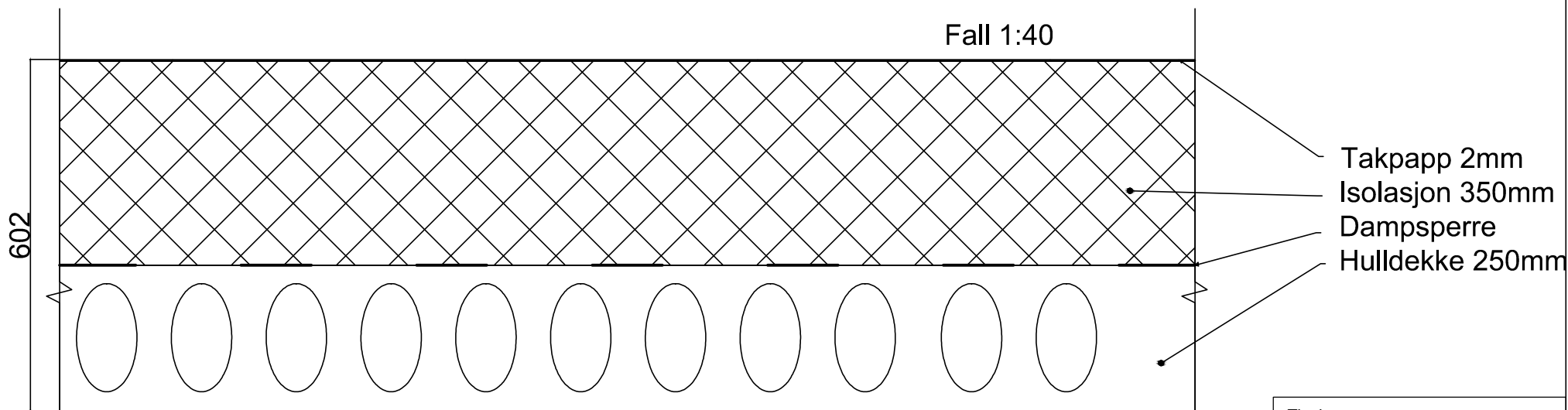


Tittel: Veggtyper	
Målestokk: 1:10	Tegningnr.: 02
Dato: 17.10.12	Sign: R.S



- Gips 2x12mm
- Innvendige stendere og isolasjon 98mm
- Dampsperre
- Isolasjons 98mm
- Ytre stendere og isolasjon 148mm
- Vindsperre 12mm
- Vindsperre rull
- Luftespalte 15mm
- Over- og underligger 24mm

Tittel: Dobbelt stenderverk	
Målestokk: 1:10	Tegningnr.: 03
Dato: 18.10.12	Sign: R.S

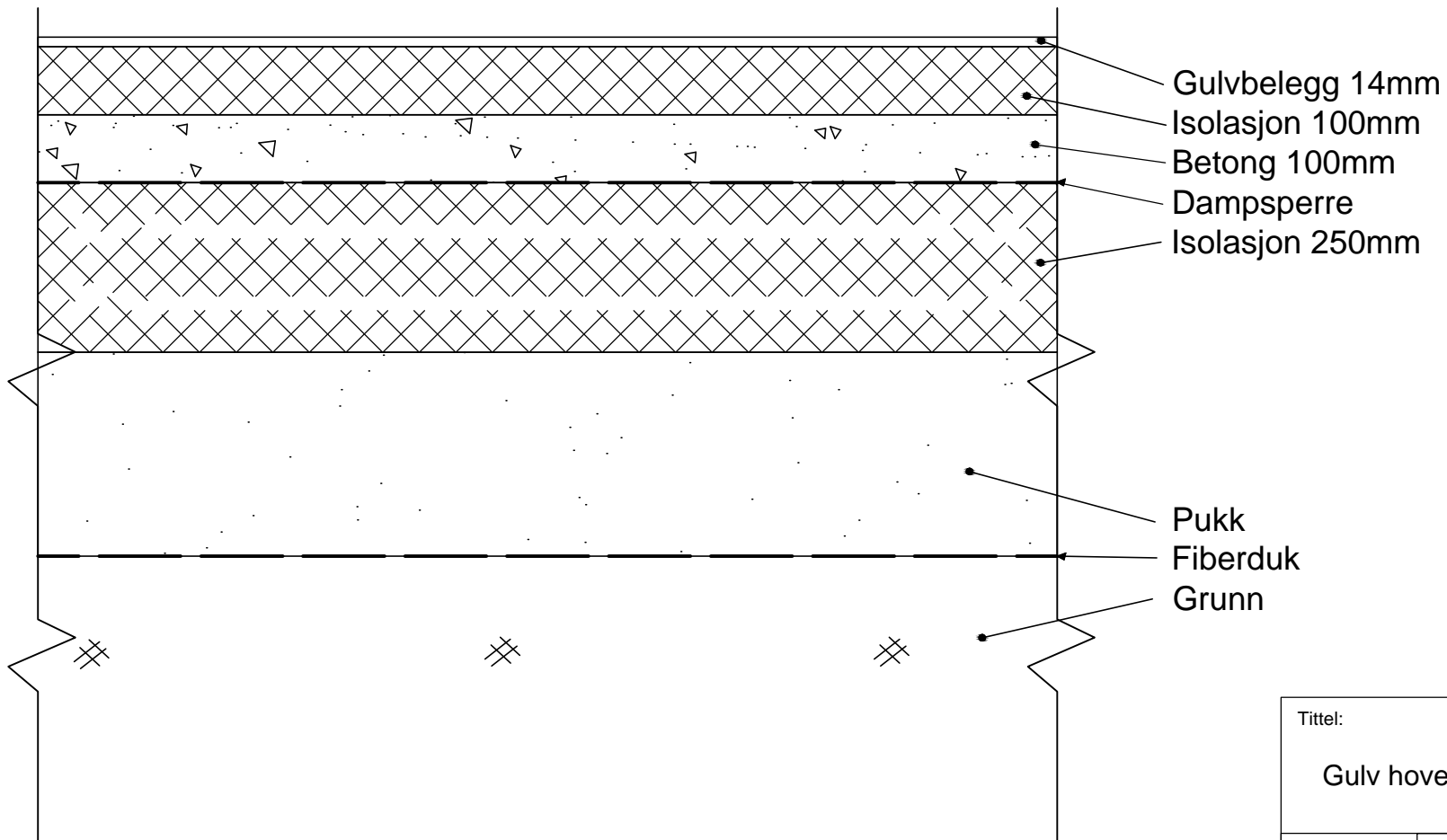


Tittel:	
Tak	
Målestokk: 1:10	Tegningnr.: 04
Dato: 18.10.12	Sign: R.S

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



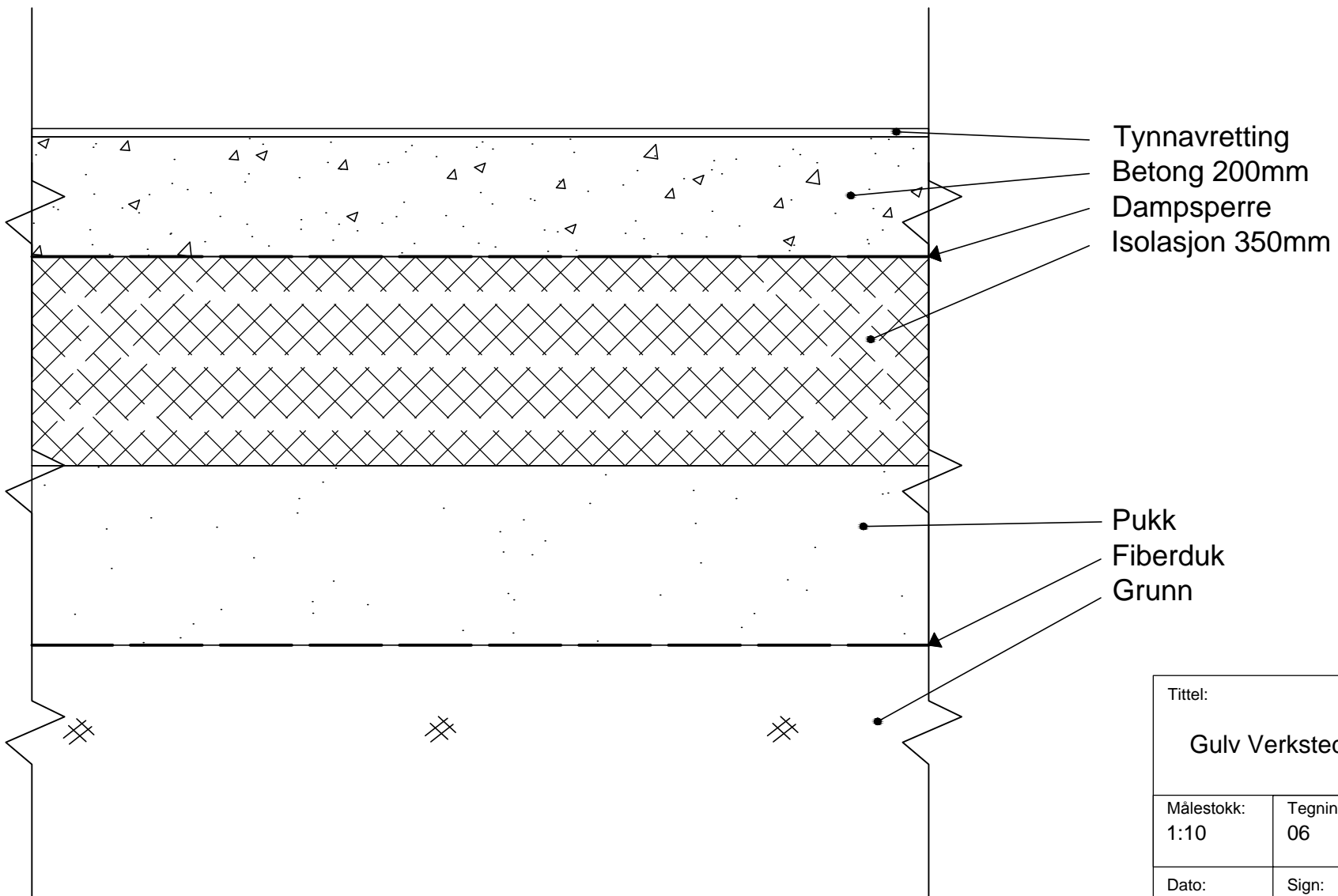
Tittel:	
Gulv hoveddel	
Målestokk: 1:10	Tegningnr.: 05
Dato: 17.10.12	Sign: R.S

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

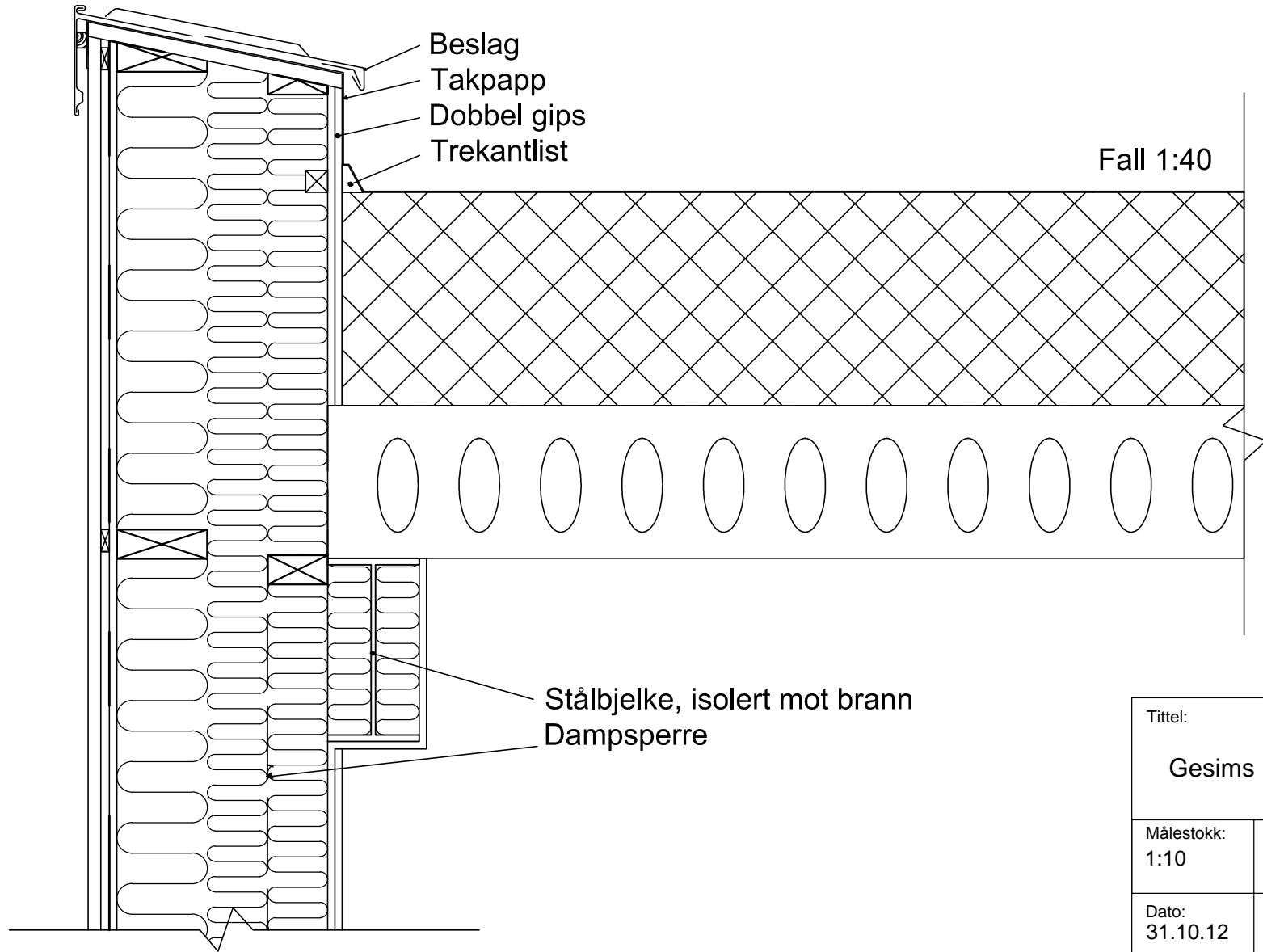
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Tittel: Gulv Verksted	
Målestokk: 1:10	Tegningnr.: 06
Dato: 17.10.12	Sign: R.S

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

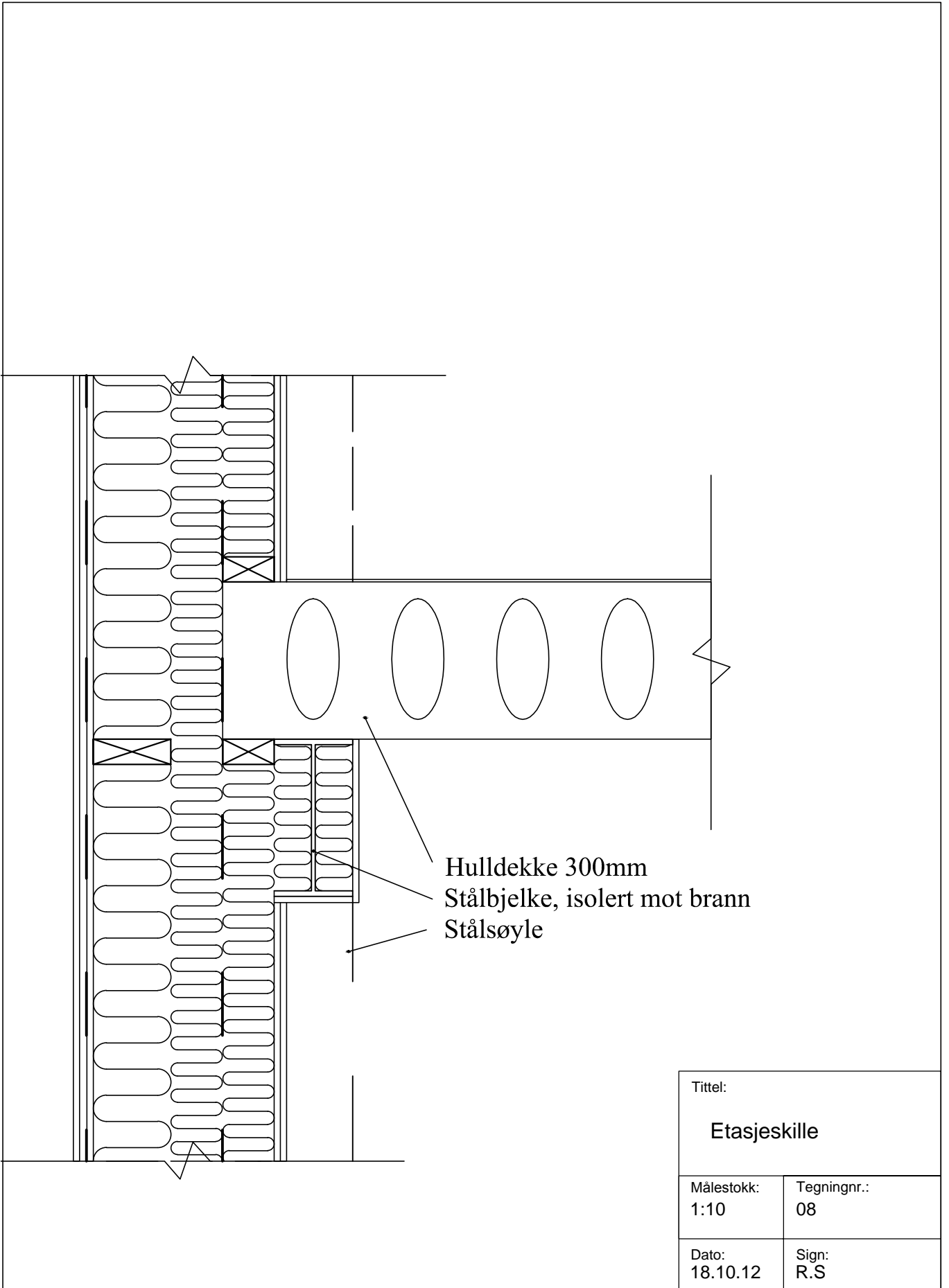


Tittel: Gesims	
Målestokk: 1:10	Tegningnr.: 07
Dato: 31.10.12	Sign: R.S

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Tittel:

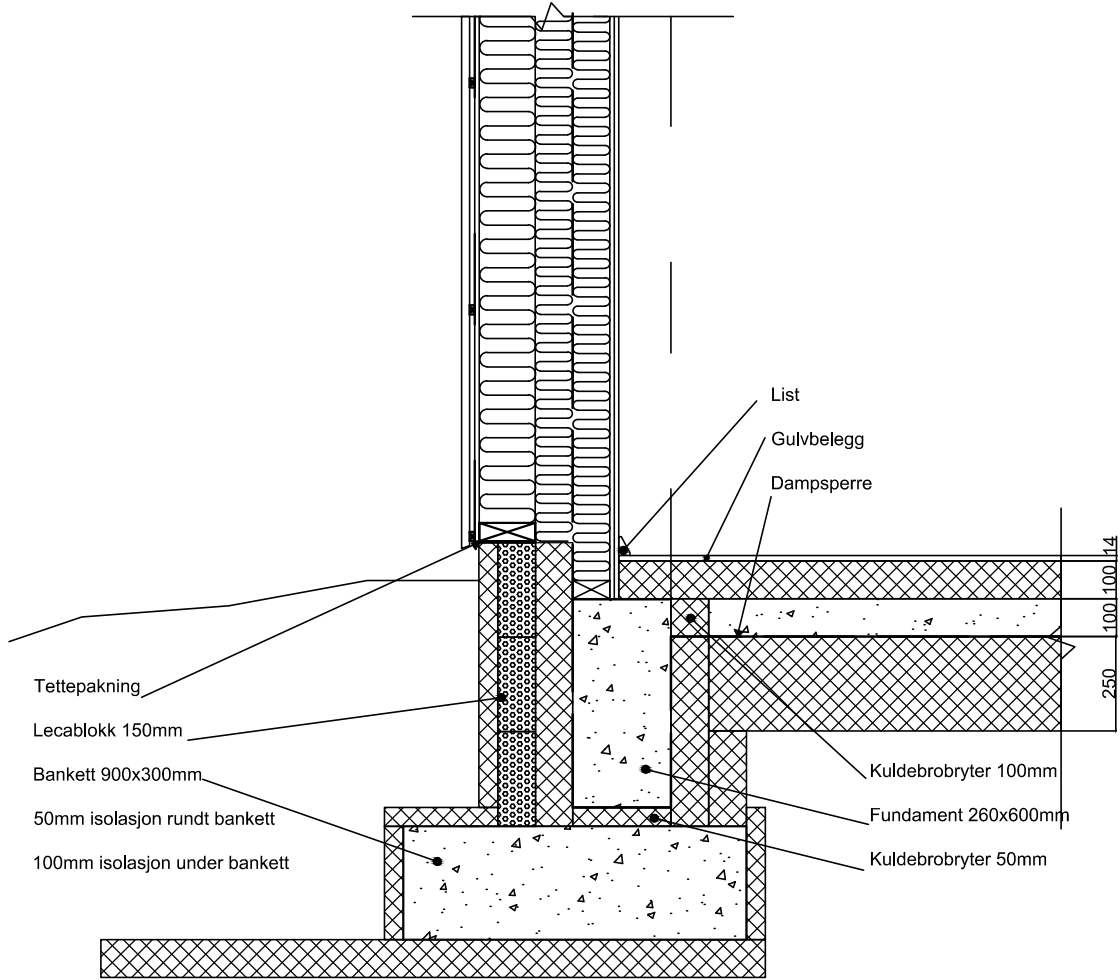
Etasjeskille

Målestokk:
1:10

Tegningnr.:
08

Dato:
18.10.12

Sign:
R.S



Tittel:

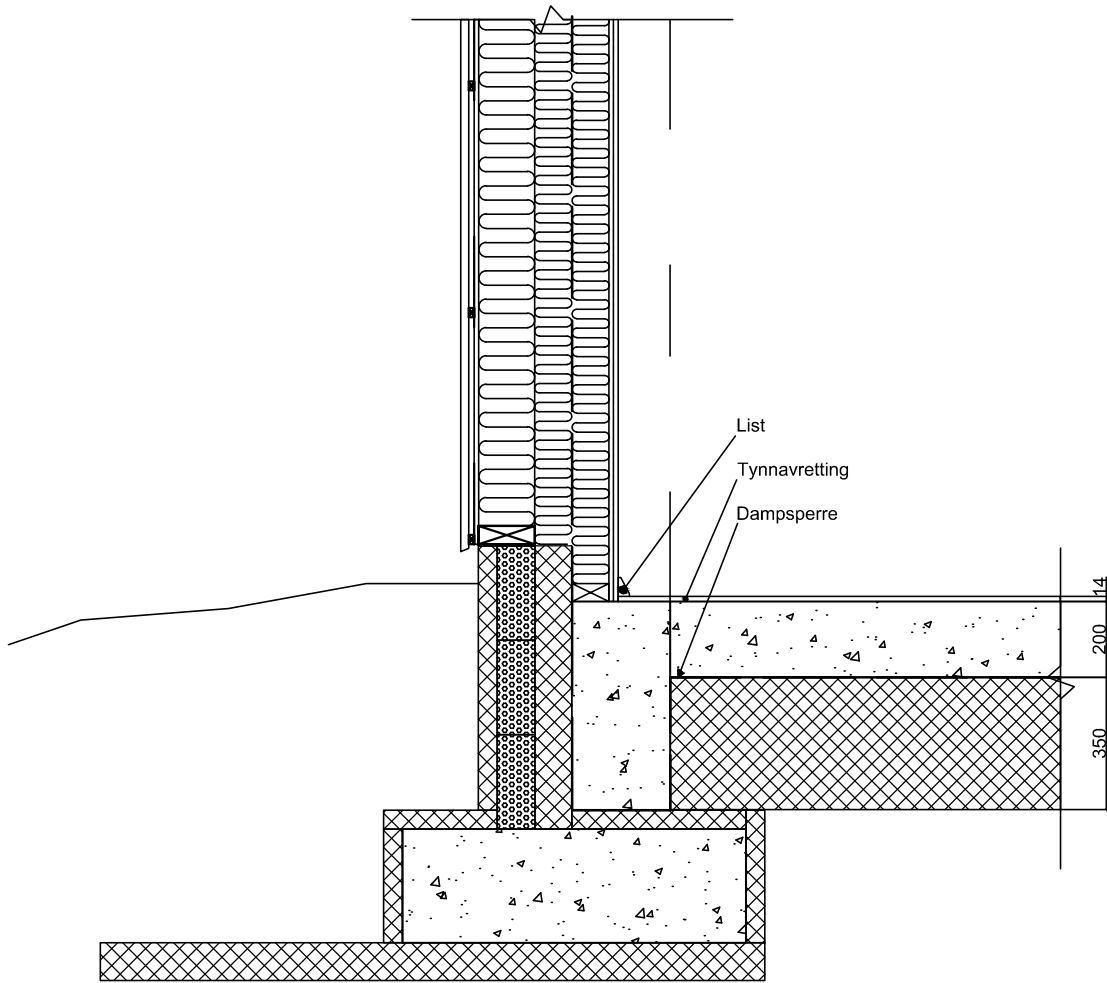
Grunnmur hoveddel

Målestokk:
1:20

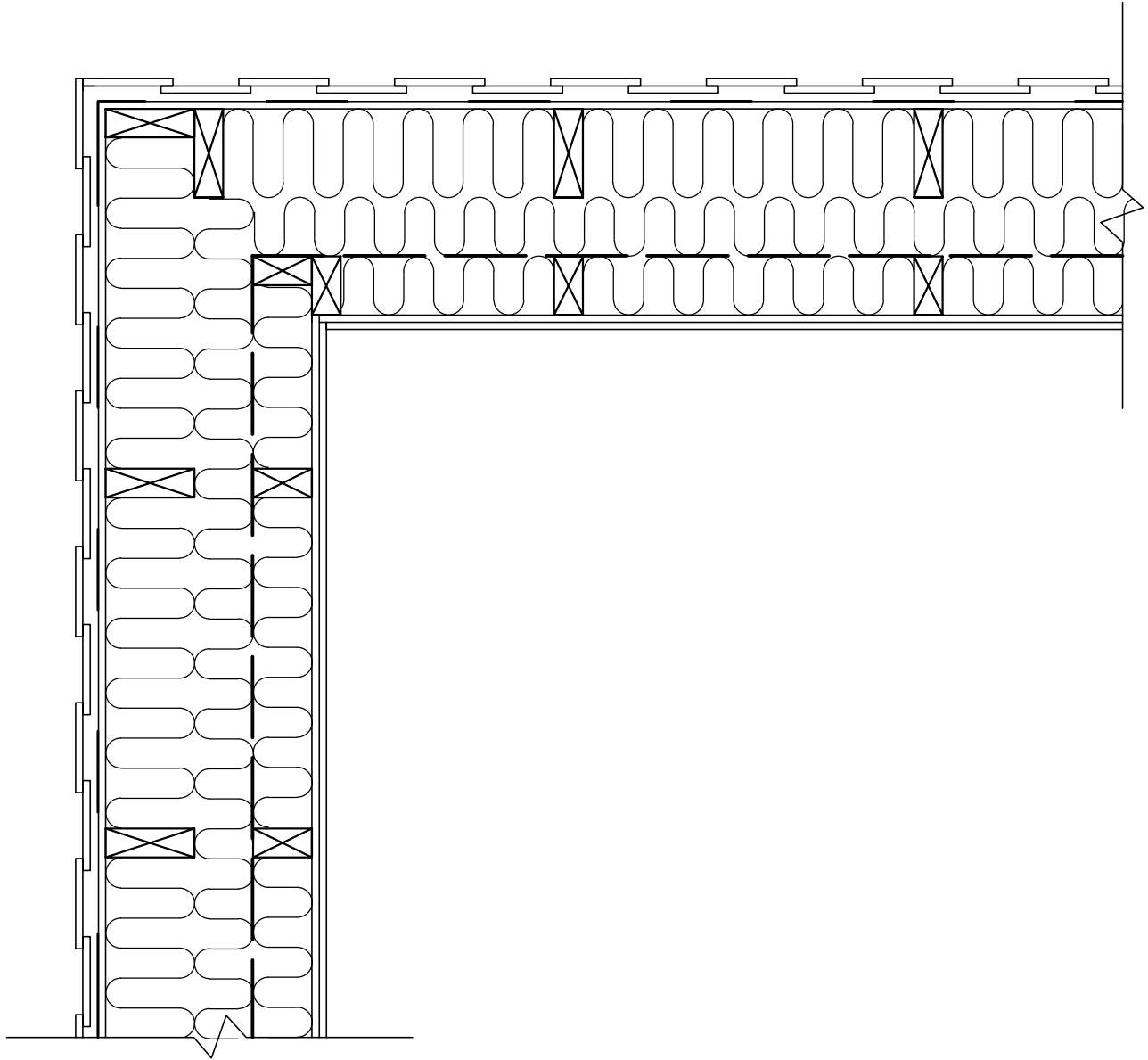
Tegningnr.:
09

Dato:
22.11.12

Sign:
R.S



Tittel: Grunnmur verksted	
Målestokk: 1:20	Tegningnr.: 10
Dato: 22.11.12	Sign: R.S

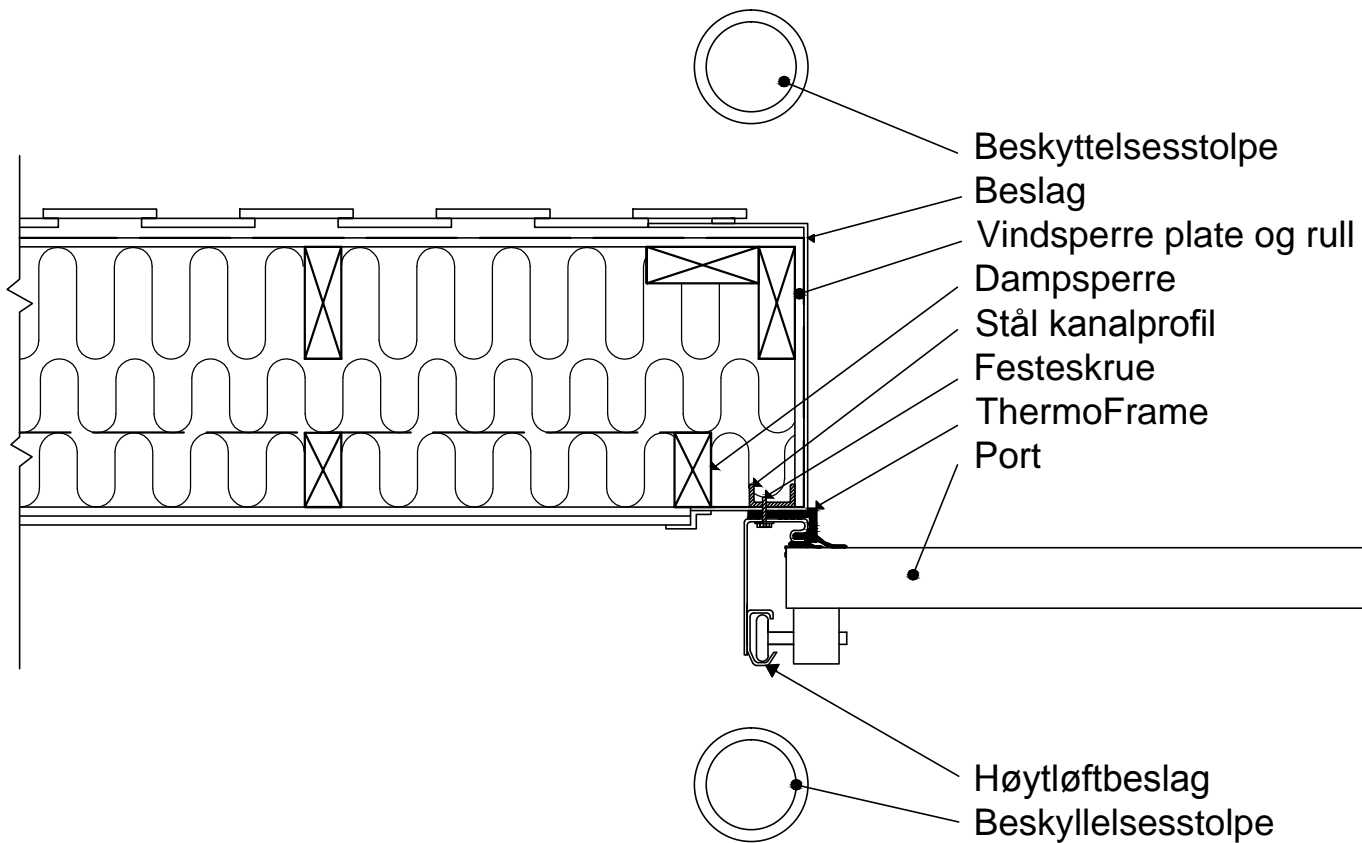


Tittel: Hjørne	
Målestokk: 1:10	Tegningnr.: 11
Dato: 31.10.12	Sign: R.S

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



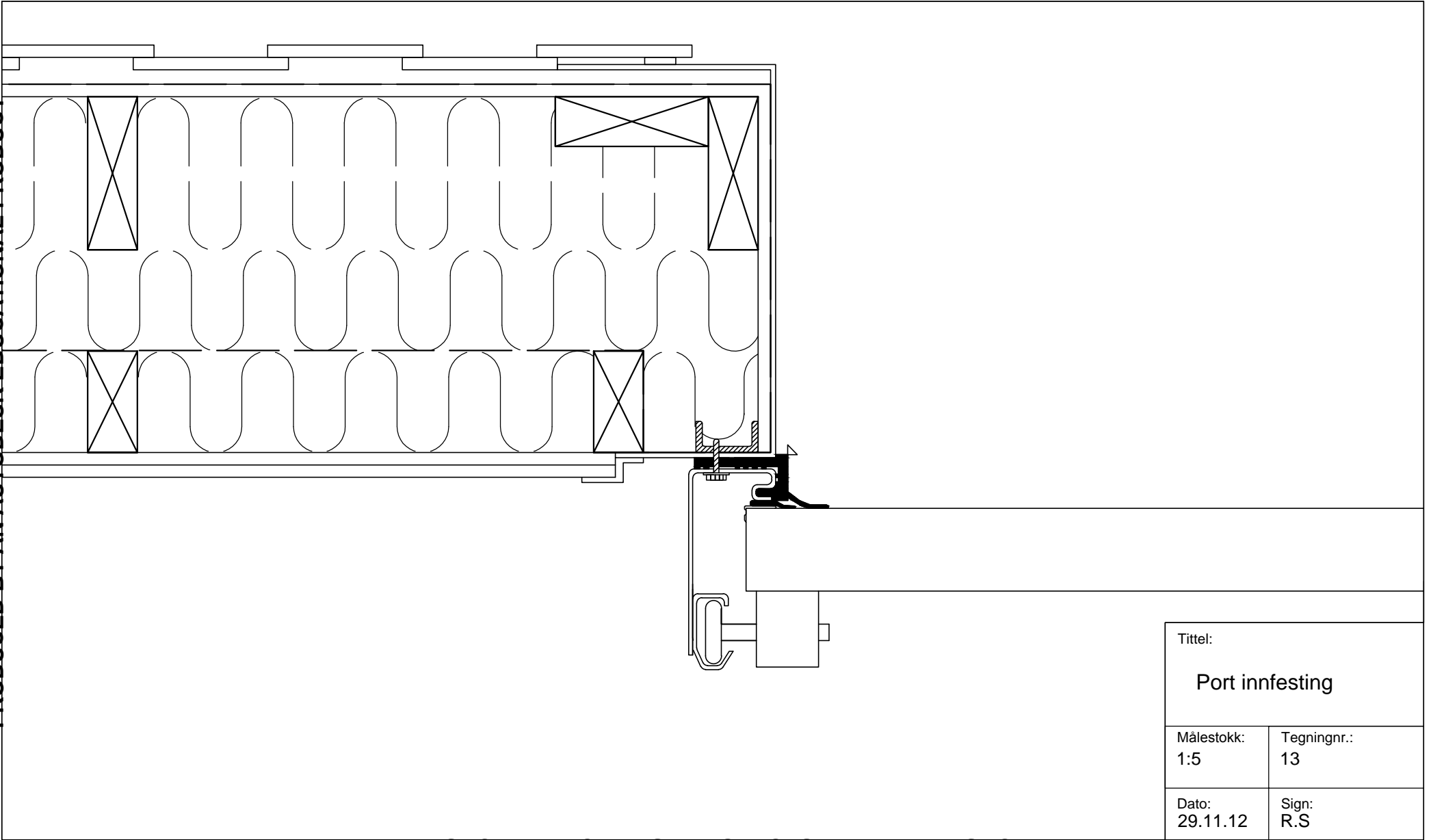
Tittel: Port	
Målestokk: 1:10	Tegningnr.: 12
Dato: 29.11.12	Sign: R.S

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Tittel: Port innfesting	
Målestokk: 1:5	Tegningnr.: 13
Dato: 29.11.12	Sign: R.S

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

U-verditabeller fra Byggforsk, ytterkonstruksjoner.

Tabeller med U-verdier fra NBI 471.013, NBI 471.012 og NBI 521.112

Tak

Beregnet U-verdi (W/(m²K))
Kompakte tak på dekke av betong
Massiv betong, hulldekke¹⁾ eller DT-elementer

Isolasjons- tykkelse, d mm	Isolasjonens varmekonduktivitet, λ W/(mK)						
	0,031	0,034	0,035	0,036	0,038	0,041	0,043
30	0,81	0,87	0,89	0,91	0,95	1,00	1,03
50	0,54	0,58	0,60	0,61	0,64	0,68	0,70
60	0,46	0,50	0,51	0,52	0,55	0,58	0,61
70	0,40	0,44	0,45	0,46	0,48	0,51	0,53
80	0,36	0,39	0,40	0,41	0,43	0,46	0,48
100	0,30	0,32	0,33	0,34	0,35	0,38	0,39
120	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,34
130	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,30	0,31
150	0,21	0,22	0,23	0,23	0,25	0,26	0,28
160	0,19	0,21	0,22	0,22	0,23	0,25	0,26
180	0,17	0,19	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23
200	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,21
220	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,19	0,20
230	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19
250	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17
260	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17
280	0,12	0,13	0,13	0,13	0,14	0,15	0,16
300	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15
350	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13
400	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11
450	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10
500	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09

¹⁾ Korreksjon for hulldekker med 30–120 mm isolasjon:
– U-verdien kan reduseres med 0,01 W/(m²K)

Vegg

Tabell 211
Beregnet U-verdi (W/(m²K))
Yttervegg med bindingsverk av tre¹⁾ og vindsperre av papp, gipsplater e.l.²⁾

Stenderdimensjon, d mm	Isolasjonens varmekonduktivitet, λ W/(mK)			
	0,034	0,037	0,040	0,043
36 x 73	0,47	0,50	0,52	0,55
48 x 73	0,50	0,52	0,54	0,57
36 x 98	0,37	0,39	0,41	0,43
48 x 98	0,39	0,41	0,43	0,45
36 x 123	0,31	0,33	0,34	0,36
48 x 123	0,32	0,34	0,36	0,37
36 x 148	0,26	0,28	0,29	0,31
48 x 148	0,28	0,29	0,31	0,32
36 x 173	0,23	0,24	0,26	0,27
48 x 173	0,24	0,26	0,27	0,28
36 x 198	0,20	0,22	0,23	0,24
48 x 198	0,22	0,23	0,24	0,25
36 x 223	0,19	0,20	0,21	0,22
48 x 223	0,20	0,21	0,22	0,23
36 x (148 + 98)	0,17	0,18	0,19	0,20
48 x (148 + 98)	0,18	0,19	0,20	0,21
36 x (148 + 148)	0,14	0,15	0,16	0,17
48 x (148 + 148)	0,15	0,16	0,17	0,18

¹⁾ For yttervegger med krysslekting kan man redusere U-verdien med 0,01 W/(m²K) for alle stenderdimensjoner.

²⁾ Korreksjon for 12 mm porøse trefiberplater:
– d = 73–123 mm: U-verdien kan reduseres med 0,03 W/(m²K)
– d = 148–173 mm: U-verdien kan reduseres med 0,02 W/(m²K)
– d ≥ 198 mm: U-verdien kan reduseres med 0,01 W/(m²K)

Eksempel på korreksjon: Ved bruk av krysslekting og 12 mm porøs trefiberplate som vindsperre kan U-verdien for en vegg med total isolasjonstykkelse på 198 mm reduseres med 0,01 + 0,01 = 0,02 W/(m²K)

Gulv

Tabell 32
Gjennomsnittlig U-verdi for gulvkonstruksjon på grunnen ved bruk av isolasjon med λ = 0,038 W/(mK)
I tabellen er det bare regnet med varmemotstanden i isolasjonssjiktet og innvendig varmeovergangsmotstand.

Isolasjonstykkelse (mm)	100	150	200	250	300
U-verdi (W/(m ² K))	0,36	0,25	0,19	0,15	0,13

For isolasjonsmaterialer med annen dokumentert dimensjonerende λ-verdi kan isolasjonstykkelsen t bestemmes av formelen:

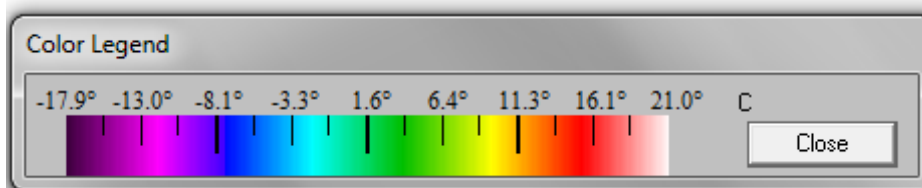
$$t = t_{0,038} \cdot \lambda_{ny} / 0,038 \quad (\text{mm})$$

hvor:

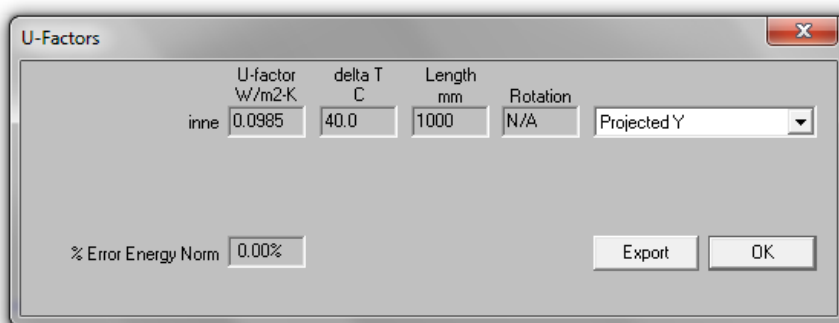
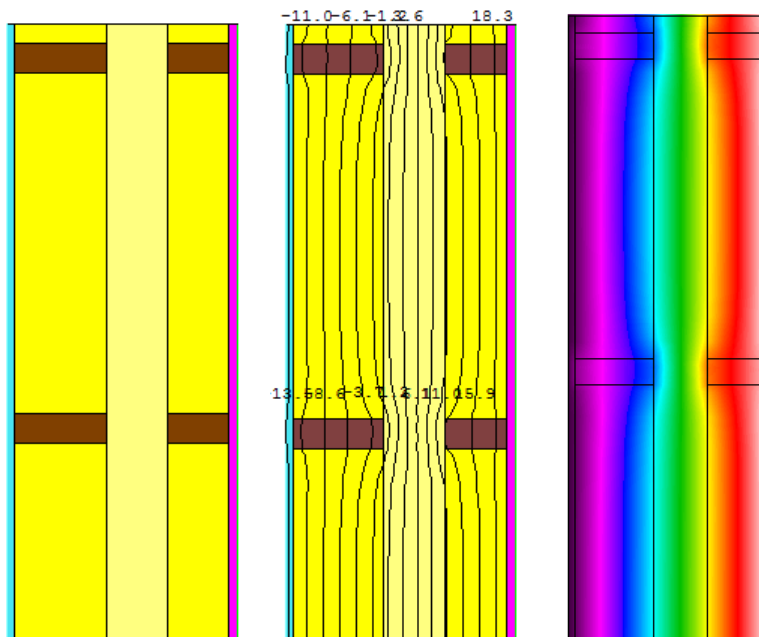
- $t_{0,038}$ er isolasjonstykkelse (mm) for isolasjon med λ = 0,038 W/(mK)
- λ_{ny} er dimensjonerende varmekonduktivitet for det aktuelle materialet (W/(mK))

Modeller og varmegjennomgang fra THERM

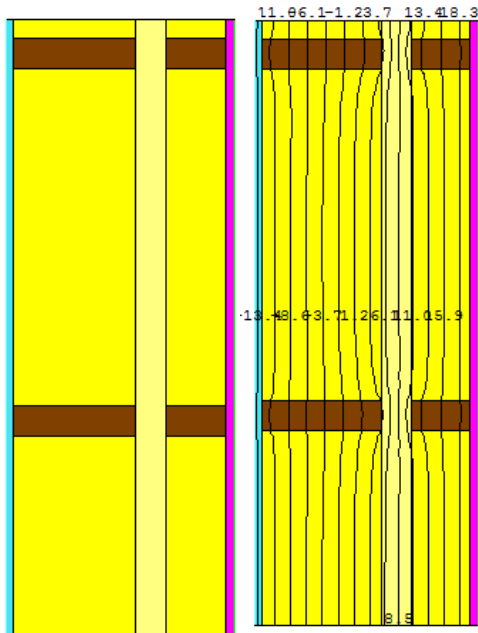
For alle bildene over varmegjennomgang gjelder denne temperaturtabellen



Horisontal vegg



Dobbelt stenderverk 148x98x98 mm. U-verdi 0,099 W/m²K.

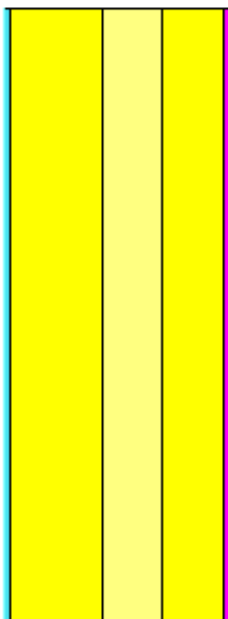


Dobbelt stenderverk 198x48x98 mm. U-verdi 0,104 W/m²K.

	Varmekonduktivitet	Materiale
	0,05 W/m ² K	Vindsperre
	0,033 W/m ² K	Isolasjon
	0,038 W/m ² K	Isolasjon, 6 % treandel
	0,12 W/m ² K	Trestender
	0,23 W/m ² K	Gips

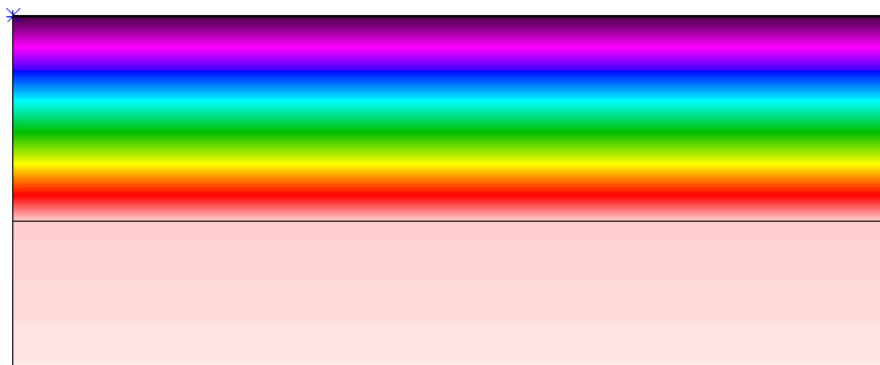
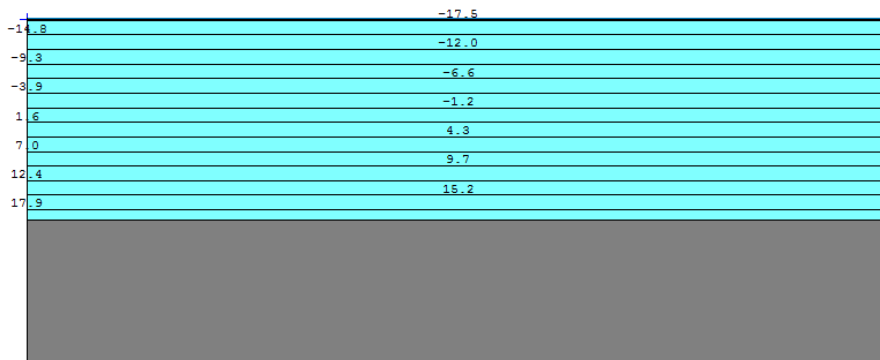
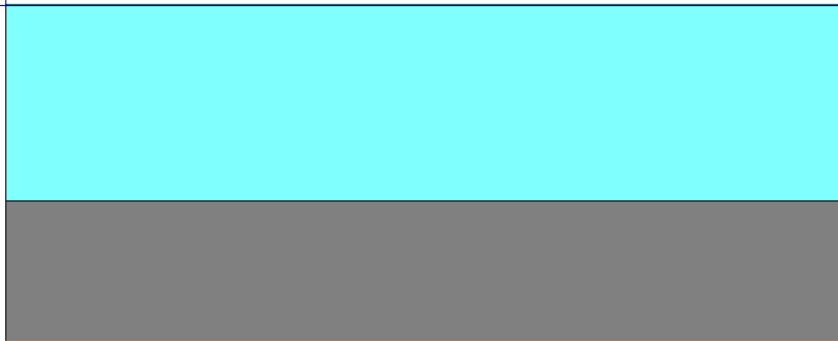
Vertikal vegg



†



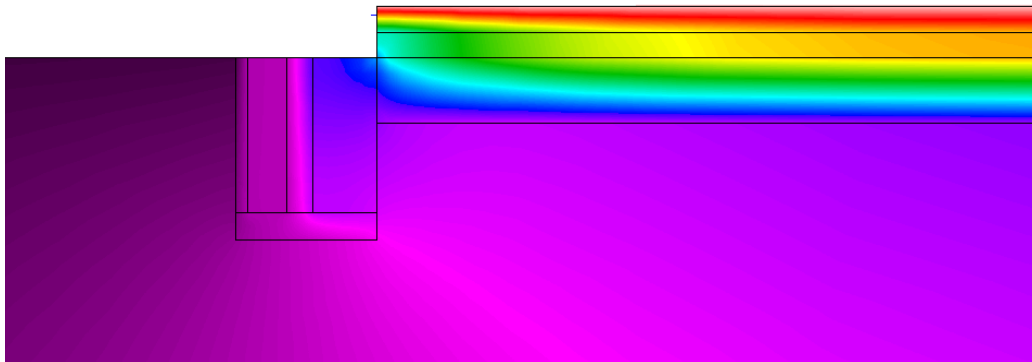
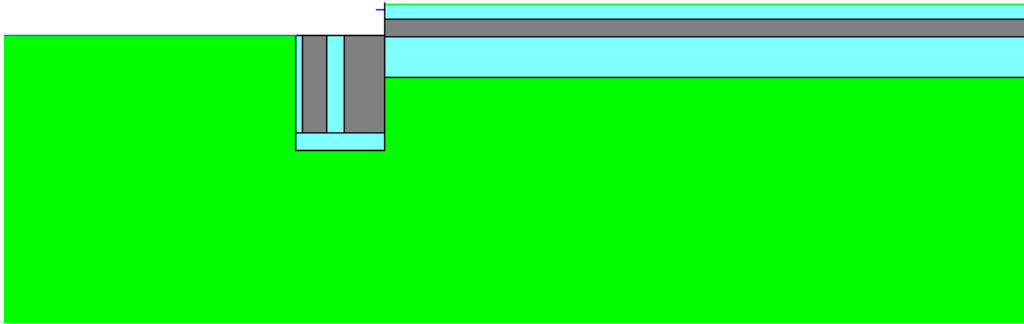
	Varmekonduktivitet	Materiale
	0,05 W/m ² K	Vindsperre
	0,033 W/m ² K	Isolasjon
	0,046 W/m ² K	Isolasjon, 15% treandel
	0,23 W/m ² K	Gips

Tak

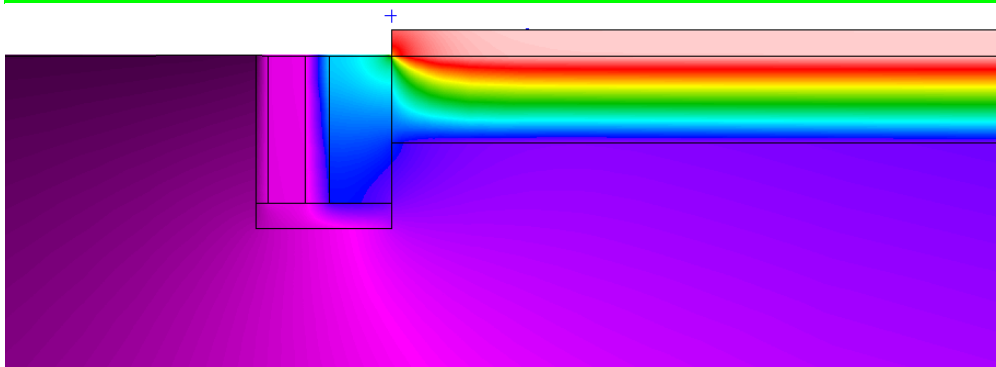
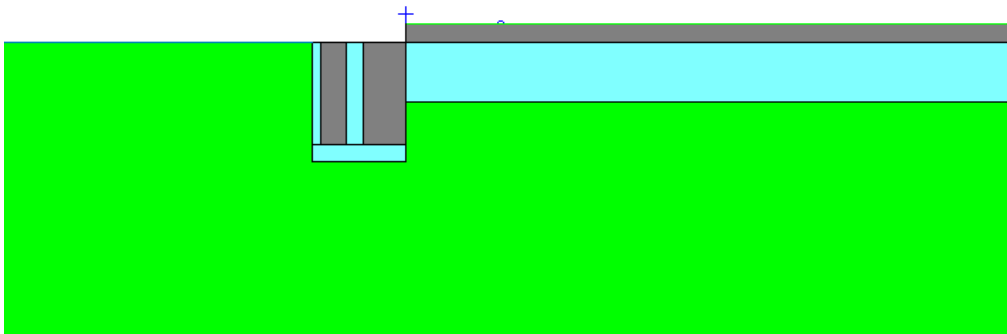




	Varmekonduktivitet	Materiale
	0,037 W/m ² K	Trykkfast isolasjon
	0,17 W/m ² K	Hulldekke

Gulv i hoveddel

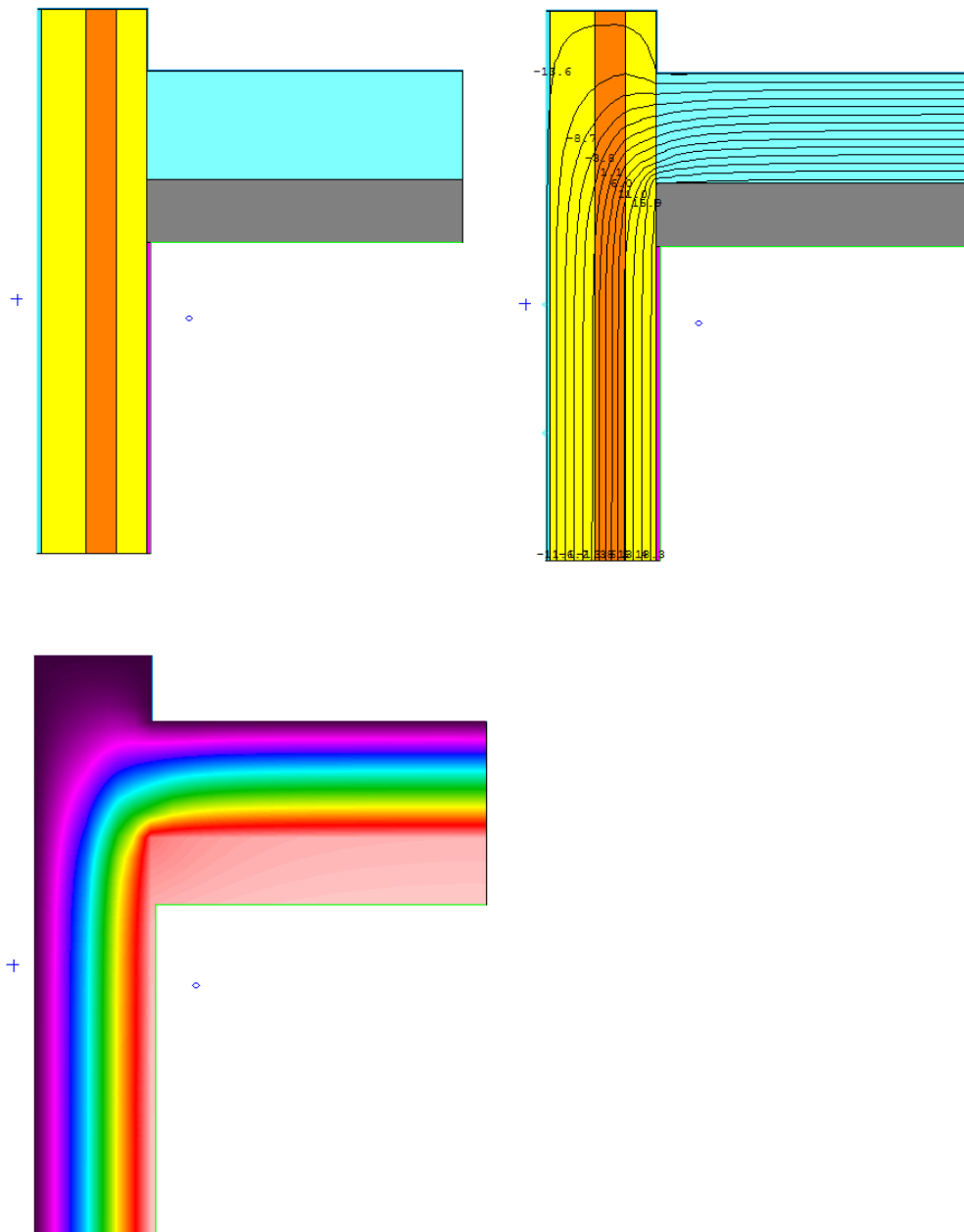



Gulv i verksted



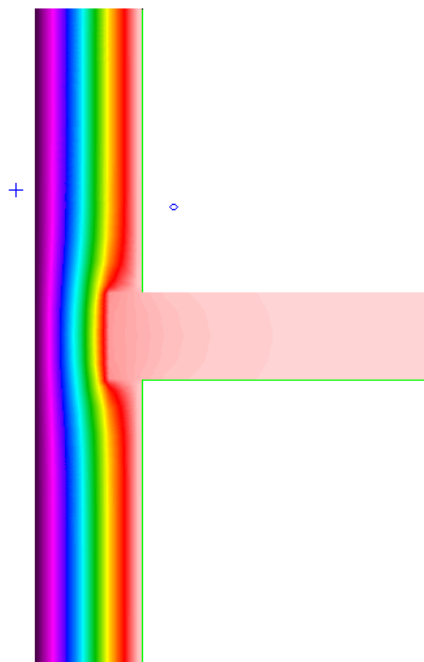
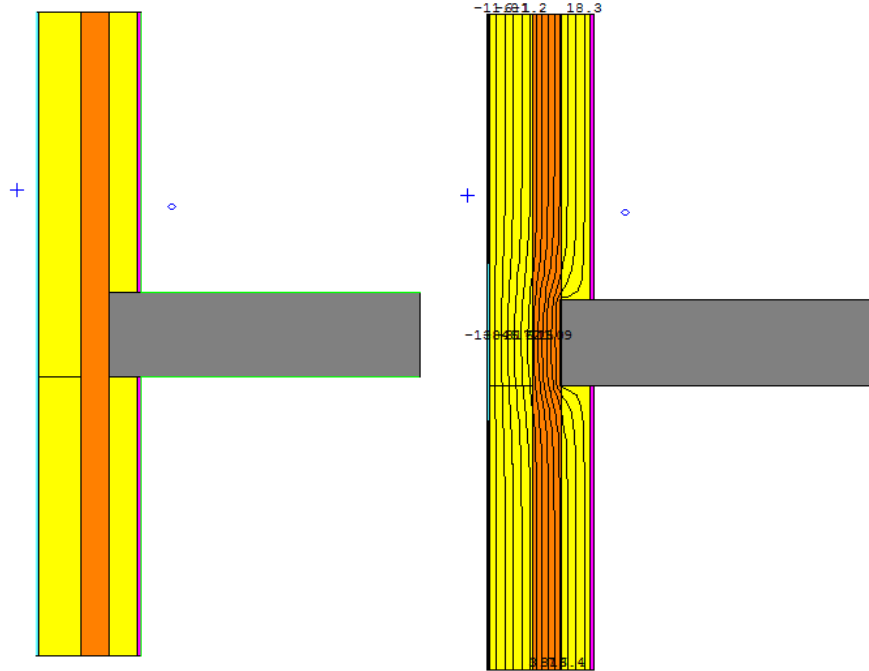
	Varmekonduktivitet	Materiale
	0,037 W/m ² K	Trykkfast isolasjon
	0,17 W/m ² K	Betong

Gesims



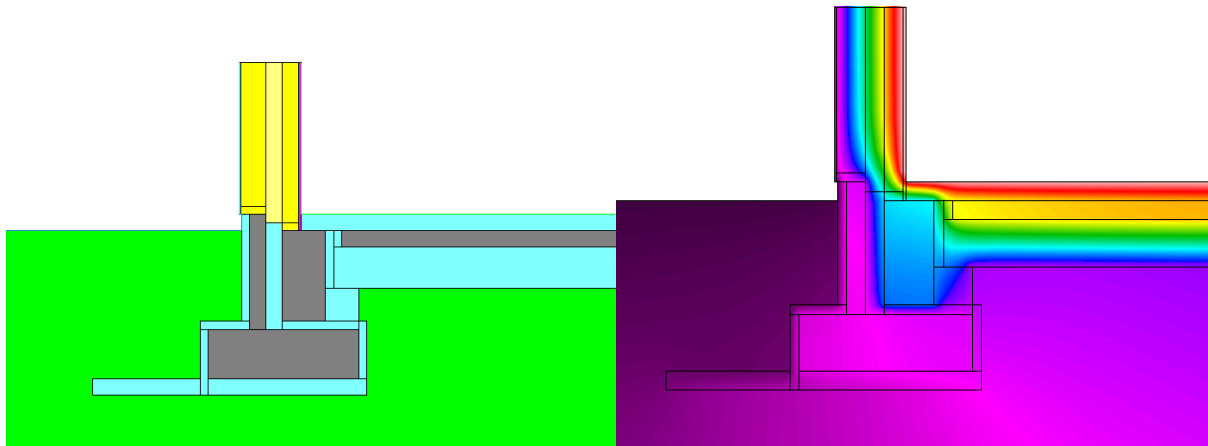
	Varmekonduktivitet	Materiale
	0,05 W/m ² K	Vindsperre
	0,033 W/m ² K	Isolasjon
	0,046 W/m ² K	Isolasjon, 15% treandel
	0,23 W/m ² K	Gips
	0,037 W/m ² K	Trykkfast isolasjon
	0,17 W/m ² K	Hulldekke

Etasjeskille

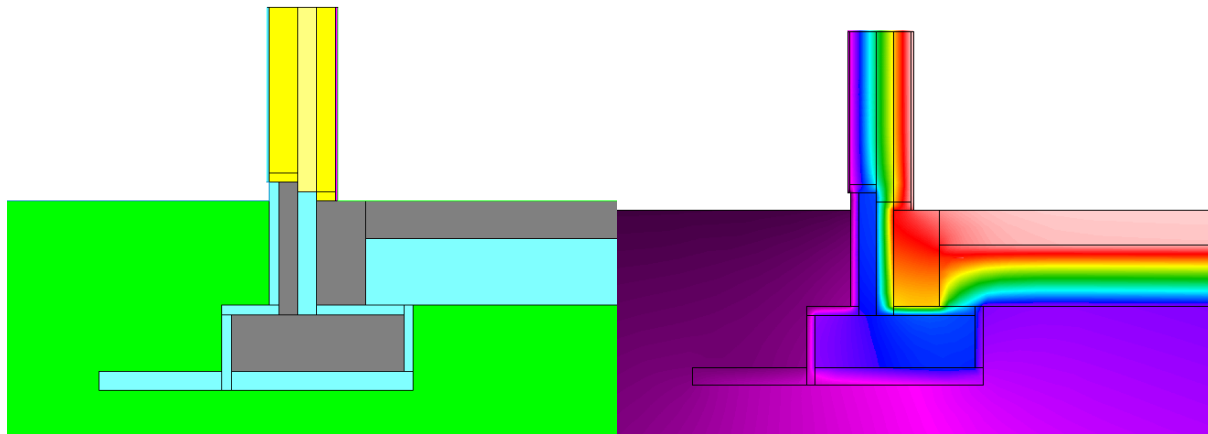



	Varmekonduktivitet	Materiale
	0,05 W/m ² K	Vindsperre
	0,033 W/m ² K	Isolasjon
	0,046 W/m ² K	Isolasjon, 15% treandel
	0,23 W/m ² K	Gips
	0,17 W/m ² K	Hulldেকে

Grunnmur hoveddel

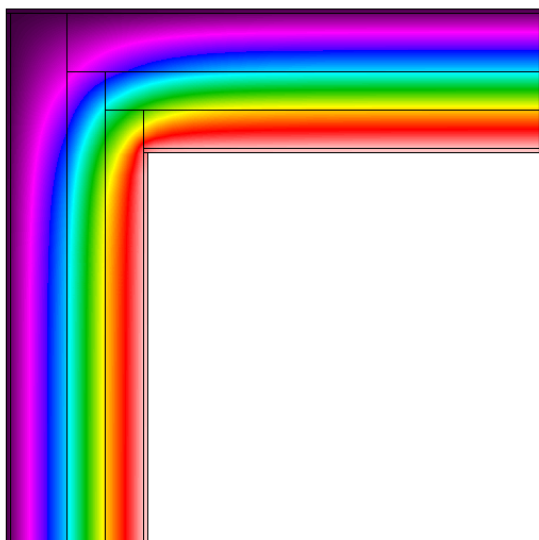
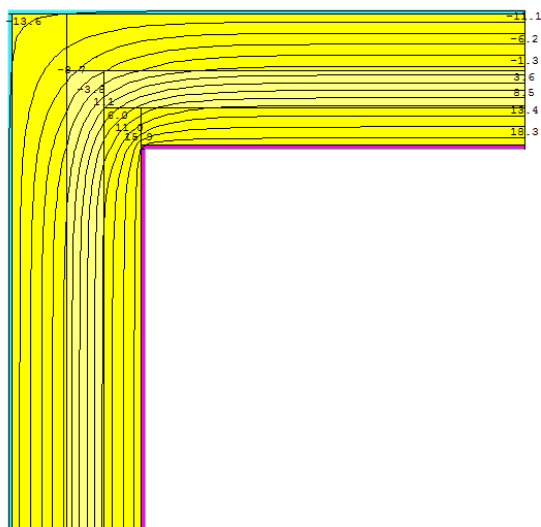
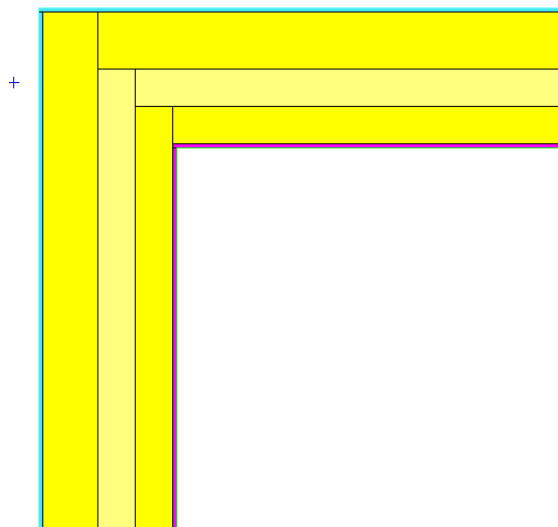


Grunnmur verksted



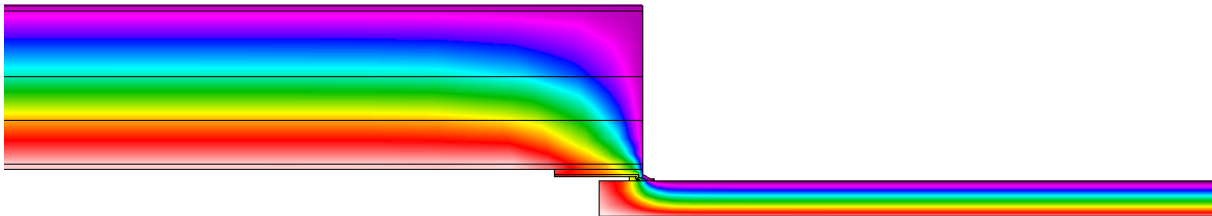
	Varmekonduktivitet	Materiale
	0,05 W/m ² K	Vindsperre
	0,033 W/m ² K	Isolasjon
	0,046 W/m ² K	Isolasjon, 15% treandel
	0,23 W/m ² K	Gips
	0,037 W/m ² K	Trykkfast isolasjon
	0,17 W/m ² K	Betong

Hjørne



	Varmekonduktivitet	Materiale
	0,05 W/m ² K	Vindsperre
	0,033 W/m ² K	Isolasjon
	0,046 W/m ² K	Isolasjon, 15% treandel
	0,23 W/m ² K	Gips

Port



	Varmekonduktivitet	Materiale
	0,05 W/m ² K	Vindsperre
	0,033 W/m ² K	Isolasjon
	0,046 W/m ² K	Isolasjon, 15% treandel
	0,23 W/m ² K	Gips
	0,041 W/m ² K	Port
	0,16 W/m ² K	Gummilist
	17,0 W/m ² K	Stålinnfesting

Håndberegninger vegg og etasjeskille

U-verdi vegg av dobbel bindingsverk

Utrekningene er gjort i henhold til beskrivelsen i avsnitt 2.4.1. og NS-EN ISO 6946.

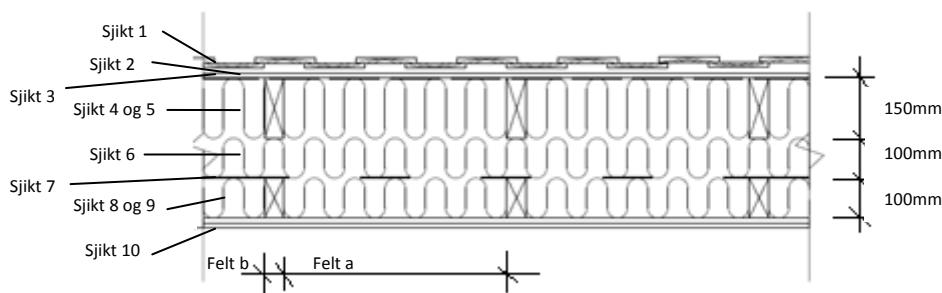
U-verdien for en konstruksjon er gitt ved formelen vist nedenfor.

$$U = \frac{1}{R_T} + \Delta U$$

Denne type bygningsdel består av ikke-homogene sjikt på grunn av både stenderverk og isolasjon i samme sjikt. Tar ikke hensyn til ΔU med korreksjoner for luftåpninger i isolasjon og mekaniske festeanordninger. Formelen for total varmemotstand R_T er vist nedenfor.

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2}$$

Utrekningene må utføres med øvre og nedre grense. Viser først oppbyggingen av vegg som skal beregnes.



- Beregninger av feltenes andel av totalt areal

Aa = Felt a, isolasjonsfelt = 91,3 % = 0,913.

Ab = Felt b, stenderfelt = 8,7 % = 0,087.

- Materialliste med dimensjon og varmekonduktivitet.

Material	d - Dimensjon, tykkelse (m)	λ - Varmekonduktivitet (W/mK)	R - Varmemotstand (m^2K/W)
Utvendig kledning	0,024	0,12	0,20
Vindsperrer	0,014	0,05	0,28
Ytre trestender	0,198	0,12	1,65
Ytre mineralull	0,198	0,033	6,00
Midtre mineralull	0,098	0,033	2,97
Dampsperrer	~0,002	~0,04	0,05
Indre trestender	0,098	0,12	0,82
Indre mineralull	0,098	0,033	2,97
2 lag gipsplate	0,024	0,23	0,10

- Utrekning av øvre grense, R'_T :

$$R'_T = \frac{\sum A}{\sum (A/R_T)} = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{Ta}} + \frac{A_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{R_{Tn}}}$$

Formelen for utrekning av øvre grense er vist ovenfor. Her har vi allerede funnet A_a og A_b som er henholdsvis 0,913 og 0,087. Videre må vi beregne hvert sjikts varmemotstand som er vist i tabellen med materialene som inngår i vår veggdetalj. For å gjøre denne utrekningen enklere setter vi opp en tabell som summerer hvert felts totale varmemotstand (R_{Ta} og R_{Tb}).

Sjikt	R=d/λ	Motstand I felt (m ² K/W)		Henvisning, kommentar	
		Isolasjonsfelt	Stenderfelt		
Utvendig overgangsmotstand	$R_{se} = 0,04$	-	-	Ser bort ifra varmemotstanden til ventilerte rom og utenforliggende sjikt, regner i stede med R_{si} . Vist utrekning av varmemotstander i tabellen ovenfor.	
Utvendig kledning (24mm)	$R_1 = 0,20$	-	-		
Ventilert luftrom (15mm)	$R_2 = R_{sj} = 0,13$	0,13	0,13		
Vindsperrer (14mm)	$R_3 = 0,28$	0,28	0,28		
Trestender (148mm)	$R_4 = 1,65$	-	1,65		
Mineralull (148mm)	$R_5 = 6,00$	6,00	-		
Mineralull (98mm)	$R_6 = 2,97$	2,97	2,97		
Dampsperre (2mm)	$R_7 = 0,05$	0,05	0,05		
Trestender (98mm)	$R_8 = 0,82$	-	0,82		
Mineralull (98mm)	$R_9 = 2,97$	2,97	-		
Gipsplater (24mm)	$R_{10} = 0,10$	0,10	0,10		
Innvendig overgangsmotstand	$R_{si} = 0,13$	0,13	0,13		Gitt i punkt 2.4.1.
Total varmemotstand i felt	R_{Tx}	$R_{Ta} = 12,63$	$R_{Tb} = 6,13$		

Siden vi nå har funnet feltenes varmemotstand kan vi sette inn I formelen for øvre grense og få øvre grenseverdi.

$$R'_T = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_{Ta}} + \frac{A_b}{R_{Tb}}} = \frac{0,913 + 0,087}{\frac{0,913}{12,63} + \frac{0,087}{6,13}} = 18,761$$

- **Utrekning av nedre grense, R''_T :**

Formelen for nedre grense er vist nedenfor.

$$R''_T = R_{si} + \sum R_X + R_{se}$$

Her er R_{si} og R_{se} som tidligere mens summen av R_X kommer av formelen

$$R_X = \frac{\sum A}{\sum \frac{A}{R}} = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{a1}} + \frac{A_b}{R_{b2}} + \dots + \frac{A_n}{R_{n6}}}$$

For å gjøre utregningen noe enklere i forhold til å benytte formlene ovenfor beregner vi legeringens varmeledningsevne. Altså varmeledningen av legeringen på tvers av feltene mellom stenderverk og isolasjon. Ved å gjøre dette slipper vi å beregne varmemotstand til hvert enkelt homogent sjikt som beskrevet i punkt 2.4.1. (her R_{a1} osv.) I vårt tilfelle vil vi ha legering i to tilfeller siden vi har dobbelt

bindingsverk, men varmeledningsevnen vil være lik for begge legeringene. Formelen for legeringens varmeledning er vist nedenfor.

$$\lambda_{\text{legering}} = A_a \times \lambda_a + A_b \times \lambda_b = 0,913 \times 0,033 + 0,087 \times 0,12 = 0,406 \text{ W/mK.}$$

Vi kan nå lage en tilsvarende tabell for utrekningen av nedre grense, men behøver nå ikke ta hensyn til at vi har to felt siden varmestrømmen kan gå fritt mellom feltene. De to feltene er blitt tatt hensyn til ved å ha regnet legeringenes varmeledningsevne.

Sjikt	R=d/λ	Motstand i legeringen (m ² K/W)	Henvisning, kommentar
Utvendig overgangsmotstand	R _{se} = 0,04	-	Ser bort ifra varmemotstanden til ventilerte rom og utenforliggende sjikt, regner i stede med R _{si} .
Utvendig kledning (24mm)	R ₁ = 0,20	-	
Ventilert luftrom (15mm)	R ₂ = R _{si} = 0,13	0,13	
Vindsperrer (14mm)	R ₃ = 0,28	0,28	Varmemotstandene for de homogene sjiktene vil være som tidligere, men må regne de to legeringenes varmemotstand siden de er ikke-homogene.
Ytre legering (148mm)	R ₄ = 0,148/0,406	0,37	
Mineralull (98mm)	R ₆ = 2,97	2,97	
Dampsperre (2mm)	R ₇ = 0,05	0,05	
Indre legering (98mm)	R ₈ = 0,098/0,406	0,24	
Gipsplater (24mm)	R ₁₀ = 0,10	0,10	
Innvendig overgangsmotstand	R _{si} = 0,13	0,13	
Total nedre grenseverdi R'' _T	R'' _T	R'' _T = 4,27	Gitt i punkt 2.4.1.

I tabellen vil utvendig og innvendig varmemotstand være gitt som i hovedformelen for nedre grense. R_x vil da være resultatet av homogene sjikt som vindsperre, dampsperre og den kontinuerlige isoleringen, og varmemotstanden for legeringene over de tykkelsene de har.

Vi har dermed funnet både øvre og nedre grenseverdi og kan sette disse sammen for å beregne total varmemotstand for veggkonstruksjonen.

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} = \frac{18,761 + 4,270}{2} = 11,52$$

Når denne er funnet setter vi total varmemotstand inn i formelen for U-verdi. Vi har da beregnet U-verdien manuelt for ytterveggene når de er bygd opp av dobbelt bindingsverk.

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{11,52} = 0,087$$

Resultatet av U-verdien ved å utføre manuell beregning er 0,087 W/m²K. Dette resultatet er noe lavere enn simuleringen med THERM, noe som kan komme av at vi her har tatt hensyn til varmemotstand i dampsperresjiktet og vi har benyttet dobbelt lag med gips. Vi tar forbehold om noen feil med tanke på arealandel stenderverk, siden vi har tatt hensyn til ekstra stenderverk rundt vinduer og dører. Forskjeller i arealandelen utgjør derimot lite da U-verdien med en treandel på 15 % blir 0,088 W/m²K.

Kuldebroverdi ved overgangen yttervegg/etasjeskille

Vi skal gjøre en håndberegning for å teste resultatet vi fikk i THERM simuleringen. Som nevnt i punkt 2.4.2. kan kuldebroverdien fastsettes av flere metoder. I denne beskrivelsen tar vi for oss overgangen yttervegg/etasjeskille og viser hva resultatet blir ved de ulike metodene.

- **Numerisk beregning.**

I oppgaven har vi benyttet numerisk metode for å bestemme kuldebroverdier. Vi har fått U-verdier ved hjelp av simuleringsprogrammet THERM, og beregnet kuldebroen ut ifra formelen vist i punkt 2.4.2 (numerisk metode for bygningsdeler over bakkeplan). Resultatet fra beregningene var 0,011W/mK.

- **Grovestimering ved bruk av normalverdier.**

Denne metoden bygger på grove anslag for hva kuldebroverdien vil være ut ifra gruppe av kritisk isolasjonstykkelse og type tilslutning. Vi må først bestemme hvilken gruppe vår tilslutning får.

Gruppe	Kritisk isolasjonstykkelse, mm		
	$\lambda \leq 0,05$ W/(mK)	$\lambda \leq 0,12$ W/(mK)	$\lambda \leq 0,26$ W/(mK)
1	0	0	0
2	10	25	50
3	50	120	260
4	5/6 av tykkelsen til isolasjonen i omgivende konstruksjon		

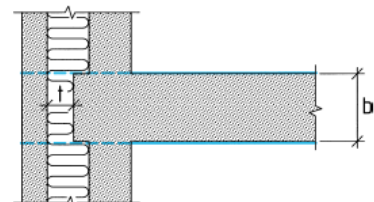
Tabellen ovenfor viser klassifiseringen av gruppe for tilslutningen og bestemmes av kritisk isolasjonstykkelse (isolasjonstykkelsen til en eventuell kuldebrobryter) og tykkelsen på denne. Vi har kuldebrobryter med varmekonduktivitet 0,033 W/mK og tykkelse 100mm. Ut ifra dette ser vi i tabellen at vår overgang havner i gruppe 3. Videre må vi vurdere gruppen i forhold til tilslutningstype vi skal beregne, for overgangen i denne beregningen får vi følgende resultat.

Tilslutningstype	Kuldebroverdien, Ψ (W/mK)			
	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Yttervegg/etg.skille	1,0	0,50	$0,10 + \Psi_F$	Ψ_F

Ψ_F er en faktor som benyttes i spesielle tilfeller der beregningsplanet starter der U-verdiberegningen slutter i tilslutningen til innvendige konstruksjoner (i dette tilfellet stopper ytterveggene der den innvendige konstruksjonen etasjeskillet kommer). Ψ_F bestemmes av følgende formel.

$$\Psi_F = (b \times \lambda) / t$$

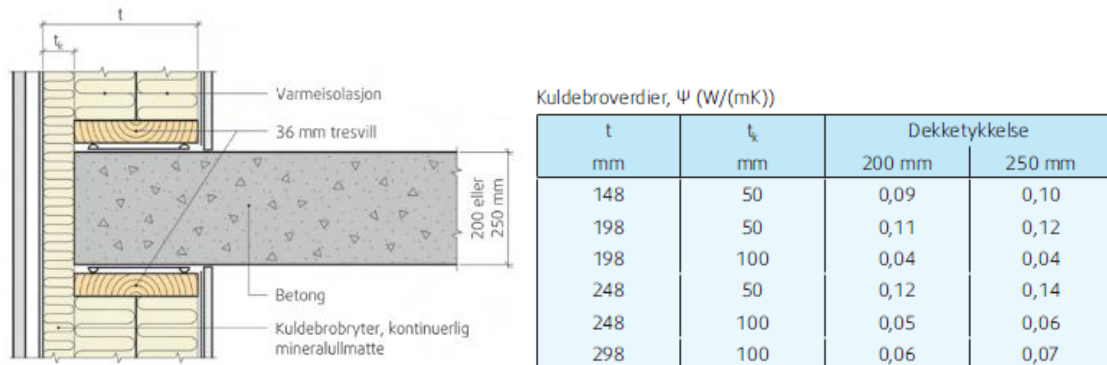
Her er b tykkelsen til etasjeskillet, λ isolasjonens varmekonduktivitet og t tykkelsen til isolasjonen utenfor tilslutningsdetaljen. Dette er vist i figuren til høyre. NBI Byggdetaljblad 471.016 sier imidlertid også at siden denne



tilslutningen er et mellombjelkelag og at det er lik temperatur på begge sidene av dekket. På grunn av dette skal Ψ_F sløyfes og vi vil få en estimert kuldebroverdi på 0,10 W/mK. En høy verdi i forhold til den kuldebroverdien vi har beregnet ved hjelp av THERM. Denne høye verdien kommer av at tabellene og gruppeinndelingen som vist ovenfor ikke tar hensyn til så godt isolerte konstruksjoner som vi har.

- **Kuldebroverdi ut i fra tabelloppslag (NBI Byggedetaljblad 471.017).**

Ved denne metoden bestemmes kuldebroverdien ut ifra oppgitte verdier fra Sintef Byggforsk. Vår tilslutning bestemmes av figur og tabell som vist nedenfor.



I vårt tilfelle er kuldebryteren, t_k 100mm og vi har en veggkonstruksjon med en tykkelse på 350mm. Dekketykkelsen er 300mm så vi må fastsette verdien ut ifra en tykkelse på 250mm. Siden kuldebrotabellen ikke går høyere enn en veggtykkelse på 300mm ender vi opp med en kuldebroverdi, Ψ på 0,07 W/mK. Ved bruk av denne metoden vil vi også få en høy kuldebroverdi på grunn av at tabellen ikke tar hensyn til svært godt isolerte vegger, og at vi har 150mm bindingsverk og isolasjon utenfor kuldebryteren. Med tanke på tabelloppslag kan vi også benytte Sintef Byggforsk "KuldebroAtlas", som viser simulerte konstruksjoner og de beregnede verdiene ved valgte dimensjoner. Dette atlaset har ikke kommet på markedet enda med det er vist eksempler i Sintef Byggforsk Prosjektrapport 25.

Som to eksempler fra atlaset kan vi vise til detaljen Etasjeskiller i betong (varmekonduktivitet på 1,65 W/mK) og bindingsverkvegg som får en kuldebroverdi på 0,09 W/mK, og detaljen Yttervegg – hulldekke etasjeskiller (HD320) med verdien 0,11 W/mK. Heller ikke her tar tabellene hensyn til konstruksjoner med ekstra mye isolasjon.

Ved å benytte metoden tabelloppslag vil kuldebroverdien for tilslutningen vår være 0,07 W/mK.

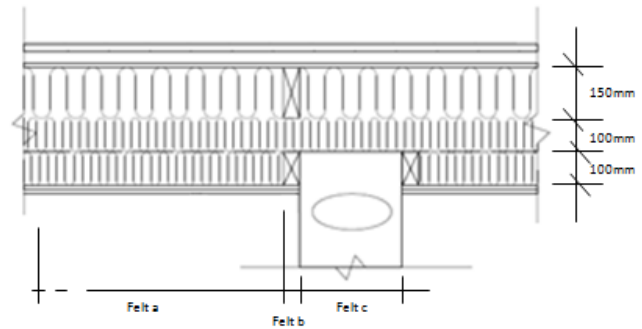
- **Manuell beregning av kuldebroverdi.**

Den metoden som trolig vil ligge nærmest vårt resultat for kuldebroverdi er manuell beregning. Denne metoden bygger på utregninger i forhold til grunnligningen for varmestrøm gjennom en konstruksjonsdel. Formelen som benyttes for denne utregningen er vist nedenfor.

$$\Psi = (U - U_0) * A/L = (U - U_0) * b$$

For å bestemme kuldebroverdien til tilslutningen må vi ha regnet ut U (U-verdien for konstruksjonen med kuldebroeffekten) og U_0 (U-verdien av konstruksjonen uten kuldebro). For overgangen yttervegg/etasjeskiller vil U være U-verdien inkludert hulldekket som kommer inn i veggen, og U_0 U-verdien for dobbelt bindingsverkvegg. Siden vi allerede har beregnet U_0 mangler vi kun U-verdien for vegg med hulldekke.

U beregnes på lik måte som U-verdiberegningen av ytterveggen som vist tidligere i vedlegget. Sjøktene vil være de samme som tidligere, men en må nå ta hensyn til tre felt i et vertikalt snitt som vist i figuren til høyre.



Siden vi allerede har vist utregningsgangen av beregningen av U-verdi gjør vi ikke dette på nytt.

Vi har beregnet U_0 til å være $0,087 \text{ W/m}^2\text{K}$ og benytter samme bredde av utsnittet som vi hadde i modellen i THERM, 2,3m.

Etter beregning med ny øvre og nedre grense får vi en U-verdi på konstruksjonen vist i figuren ovenfor på $0,092 \text{ W/m}^2\text{K}$. Denne verdien er høyere enn U-verdien for kun vegg men dette kommer av at vi har et 300mm tykt felt med betong som erstatter noe av isolasjonen i vegg. Setter vi da de verdiene vi har fått inn i formelen for kuldebroverdi får vi følgende resultat.



$$\Psi = (U - U_0) * A/L = (U - U_0) * b = (0,092 - 0,088) * 2,3 = 0,0093$$

Vi får en kuldebroverdi på $0,0093 \text{ W/mK}$. I likhet med U-verdiberegningen får vi her et noe lavere resultat enn det vi fikk ved den numeriske metoden. Grunnene til dette kan være de samme som for U-verdi da en større del av konstruksjonen er med i vurderingen. Både grovestimeringen og tabelloppslaget tok ikke hensyn til konstruksjonen slik den er og vi får av den grunn høyere U-verdier. Når vi i den manuelle beregningen tar med flere faktorer enn i den numeriske beregningen får vi et bedre resultat.

Prisliste vindu, glassfasade, dør og port

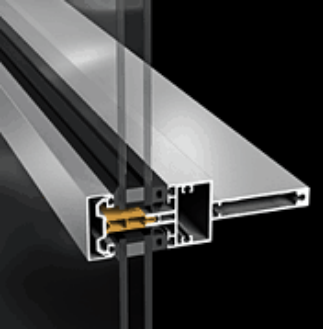
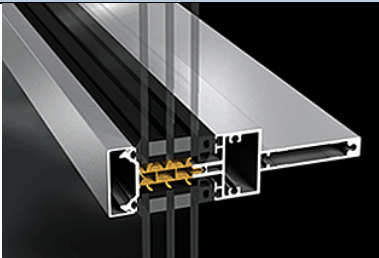
Vinduer (Energate)

Vurderer her vinduet fra Energate opp imot en gjennomsnittsverdi for vinduer av ulike leverandører med U-verdi på $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Blant leverandørene av vanlige vinduer er NorDan, Mestervindu og Lyssand.

Standard vindu (størrelse 17x20)	Pris
	<p>8 663 kr/stk eks mva</p>
 <p style="text-align: center;">U-verdi 0,61</p>	<p>ca. 10 395 kr/stk eks mva</p> <p><i>(prosentvis 20 % høyere enn vanlige glass, Energate)</i></p>
<p>Merkostnad for bruk i passivhus</p>	<p>1 732 kr/stk, eks mva.</p>
<p>➔ Total ekstra kostnad for vinduer (178 stk)</p>	<p>308 296 kr.</p>



Glassfasader

Prisgrunnlaget for glassfasader kommer fra både produsent av fasadesystemet og glassleverandør. I følge Sapa BuildingSystems i Norge vil prisen på fasadesystemet være tilnærmet likt og at det er kvaliteten av glasset som utgjør prisforskjellen. Prisforskjellene av glass er gitt av Pilkington Norge AS.

Ser på for eksempel Sapa Fasade 4150 - Insulated	Pris
 <p data-bbox="335 817 901 887">50mm isolerte aluminiumsprofiler, 2-lags glass. Gir en U-verdi på omtrent 1,0 W/m²K.</p>	<p data-bbox="1075 495 1372 562">Snittpris for 2-lags glass: 500 kr/m²</p> <p data-bbox="1075 600 1366 667">Pris for fasadesystemet: Ukjent.</p>
Sapa Fasade 4150 SX	Pris
 <p data-bbox="304 1182 933 1249">50mm superisolerte aluminiumsprofiler, 3-lags glass Gir en U-verdi på 0,71 W/m²K.</p>	<p data-bbox="1075 929 1372 996">Snittpris for 3-lags glass: 750 kr/m²</p> <p data-bbox="1075 1034 1342 1102">Pris for fasadesystem: Tilnærmet uendret.</p>
Merkostnad for bruk i passivhus	250 kr/m ²
➔ Total ekstra kostnad for glassfasade (ca. 342,7m ²)	85 683 kr.

I følge Pilkington Norge er prisforskjellen på glass med argon og kryptongass så stor at lønnsomheten ikke blir inntjent. De høye prisene på kryptonvinduer har ført til at det ikke selges slike vinduer i Norge, men må bestille spesielt fra utlandet.

Dører (fra NorDan AS)

Standard dør (størrelse 10x21)		
ND Hoveddør Galleri Utførelse Standard U-verdi produkt: $\sim 1,0W/m^2K$ Høyrehengslet Utadslående sidehengslet dørblad Løven (CYD 801) Overflatebehandling Produkt NCS S0502Y Hvit	990 × 2088mm 	8 088
NTech Passiv (størrelse 10x21)		
ND Hoveddør Galleri Utførelse NTech Passiv U-verdi produkt: $\sim 0,60W/m^2K$ Høyrehengslet Utadslående sidehengslet dørblad Løven Passiv (CYD 801) Overflatebehandling Produkt NCS S0502Y Hvit	990 × 2088mm 	10 950
Merkostnad for bruk i passivhus		2 862 kr/stk, eks mva.
➔ Total ekstra kostnad for dører (7 stk)		20 034 kr.

Porter (fra Hörmann Norge)

SPU 40 (størrelse b x h = 4x4,5m)	Priser
Veil. utvalg porttype	23 855 kr/stk
Beslagstype, høytløftsbeslag	1 235 kr
Heisemekanisme, motor	6 650 kr
ThermoFrame (for port i str 4x4,5m)	2 595 kr
Total pris port	34 355 kr/stk
DPU (størrelse b x h = 4x4,5m)	
Veil. utvalg porttype	59 829 kr/stk
Øvrig kostnad, lik som SPU	10 480 kr
Total pris port	70 309 kr/stk
Merkostnad for bruk i passivhus	35 954 kr/stk, eks mva.
➔ Total ekstra kostnad for porter (4 stk)	143 816 kr.

For begge portene er det mulig å installere en hurtigere, frekvensstyrt motor med raskere åpne- og lukketid til 10 500kr. Har ikke benyttet denne i beregningene.

Evaluering med våre valg opp mot passivhusstandarden.



SIMIEN

Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering

Tid/dato simulering: 14:58 26/11-2012

Programversjon: 5.014

Brukernavn: Student

Firma: Undervisningslisens

Inndatafil: C:\Users\Ragnhild\Desktop\Masteroppgave tegninger\Simien\Resultat.smi

Prosjekt: Bodø vid skole

Sone: Alle soner

Resultater av evalueringen

Evaluering mot NS 3701	Beskrivelse
Varmetapsramme	Bygningen tilfredstiller kravet for varmetapstall
Energiytelse	Bygningen tilfredstiller krav til energiytelse
Minstekrav	Bygningen tilfredstiller minstekrav til enkeltkomponenter
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredstiller minstekrav gitt i NS3701 (tabell A.2)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredstiller alle krav til passivhus

Varmetapsbudsjett

Beskrivelse	Verdi
Varmetapstall yttervegger	0,02
Varmetapstall tak	0,04
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,03
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,10
Varmetapstall kuldebroer	0,01
Varmetapstall infiltrasjon	0,07
Totalt varmetapstall	0,27
Krav varmetapstall	0,40

Energiytelse

Beskrivelse	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	18,8 kWh/m ²	23,2 kWh/m ²
Netto kjølebehov	0,3 kWh/m ²	1,6 kWh/m ²
Andel av varmebehovet som dekkes av annet enn direkte elektrisitet og fossile brensler	100,0 %	60,0 %
Gjennomsnittlig effektbehov belysning	4,0 W/m ²	4,5 W/m ²



SIMIEN

Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering

Tid/dato simulering: 14:58 26/11-2012

Programversjon: 5.014

Brukernavn: Student

Firma: Undervisningslisens

Inndatafil: C:\Users\Ragnhild\Desktop\Masteroppgave tegninger\Simien\Resultat.smi

Prosjekt: Bodø vid skole

Sone: Alle soner

Minstekrav enkeltkomponenter		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	0,65	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0,01	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	84	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,50	1,50
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,60	0,60

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	74909 kWh	6,8 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	131803 kWh	12,0 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	110961 kWh	10,1 kWh/m ²
3a Vifter	158679 kWh	14,4 kWh/m ²
3b Pumper	7390 kWh	0,7 kWh/m ²
4 Belysning	97312 kWh	8,8 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	97312 kWh	8,8 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	3522 kWh	0,3 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	681888 kWh	61,9 kWh/m²



SIMIEN

Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering

Tid/dato simulering: 14:58 26/11-2012

Programversjon: 5.014

Brukernavn: Student

Firma: Undervisningslisens

Inndatafil: C:\Users\Ragnhild\Desktop\Masteroppgave tegninger\Simien\Resultat.smi

Prosjekt: Bodø vid skole

Sone: Alle soner

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	362102 kWh	32,9 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	105084 kWh	9,5 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	102961 kWh	9,4 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	570148 kWh	51,8 kWh/m ²

Krav til energibehov belysning

Minst 60 % av installert effekt skal være underlagt dynamisk dagslys- og konstantlysstyring.

Alle rom skal ha dynamisk behovsstyring ved tilstedeværelse. Store rom skal ha minst en styringssone per 30 m².

Energibehovet skal dokumenteres etter NS-EN 15193 basert på prosjektert eller installert effekt og styringssystemets innvirkning på energibehovet.

All belysning skal minst tilfredsstillende kvalitetskravene for belysning gitt i NS-EN 12464-1.

Referanseinformasjon beregning

Evaluering mot NS 3701	Beskrivelse
Beregning	Utført etter NS 3701:2012 med validert dynamisk timesberegning etter reglene i NS 3031:2007
Kommune, gårds- og bruksnummer	
Konstruksjon og plassering	
Tekniske installasjoner	
Soneinndeling	
Arealvurdering	



SIMIEN

Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering

Tid/dato simulering: 14:58 26/11-2012

Programversjon: 5.014

Brukernavn: Student

Firma: Undervisningslisens

Inndatafil: C:\Users\Ragnhild\Desktop\Masteroppgave tegninger\Simien\Resultat.smi

Prosjekt: Bodø vid skole

Sone: Alle soner

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	2177	
Areal tak [m ²]:	4603	
Areal gulv [m ²]:	4603	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	1676	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	11009	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	57500	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,10	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,10	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,06	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0,65	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	15,2	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,01	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	60	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,60	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	84	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	84,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,50	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	10,5	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	3,0	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	1,58	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	19,8	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	22,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	30	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	10,0	



SIMIEN

Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering

Tid/dato simulering: 14:58 26/11-2012

Programversjon: 5.014

Brukernavn: Student

Firma: Undervisningslisens

Inndatafil: C:\Users\Ragnhild\Desktop\Masteroppgave tegninger\Simien\Resultat.smi

Prosjekt: Bodø vid skole

Sone: Alle soner

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	10,0	
Driftstid belysning (timer)	10,0	
Driftstid utstyr (timer)	10,0	
Oppholdstid personer (timer)	10,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	4,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	4,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	4,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	4,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	1,90	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	12,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,24	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	1,00	

Inndata bygning	
Beskrivelse	Verdi
Bygningskategori	Skolebygg
Simuleringsansvarlig	Sweco Norge ved Kjell Erik Lien
Kommentar	

Inndata Enovas investeringskalkulator.

Bolig, bygg og anlegg

Søker legger inn verdier for prosjektøkonomi i angitte tabeller nedenfor.
Alle kostnader, inntekter og priser skal legges inn eks. mva.

For navigering mellom tabellfelter, klikk med musepeker eller benytt TAB for å gå til neste felt. Påkrevde felter er merket med *.

For programtekst og utfyllende informasjon om Bolig, bygg og anlegg sine støtteprogram, se www.enova.no

Legg inn oppstartsår (året utbyggingsprosjektet starter) og siste året med investeringer i tabellen.

Oppstart (første år med investeringer)	<input type="text" value="2012"/>
Siste år med investeringer	<input type="text" value="2014"/>

Investeringer energibruksprogrammer

Søker legger inn de totale investeringene i prosjektet. Selv om prosjektet består av flere delinvesteringer i ulike komponenter er det kun den totale summen av investeringene per år som skal legges inn. I tillegg skal søker legge inn investeringskostnader for et tilsvarende ikke-energieffektivt prosjekt som representerer et reelt alternativ til det energieffektive prosjektet.

Ved å trykke på knappen "kopier" vil verdiene i raden fylles ut i påfølgende år.

Ar	Investeringskostnad	Referanseinvestering	Merinvestering	
2012	93 907 829	90 000 000	3 907 829	<input type="button" value="Kopier"/>
2013	93 000 000	90 000 000	3 000 000	<input type="button" value="Kopier"/>
2014	83 000 000	80 000 000	3 000 000	<input type="button" value="Kopier"/>
Sum investeringer	269 907 829	260 000 000	9 907 829	

Økonomisk levetid

Legg inn en %-vis fordeling av energiresultatene etter standard forventet levetid på de ulike tiltakene. For eksempel på utfylling, likk på linken "Eksempel":

[Eksempel](#)

Ar	%-fordeling
5	0
10	0
15	40
20	0
25	0
30	60

Levetid for energiresultater	<input type="text" value="24"/>
Siste år med energiresultater	<input type="text" value="2038"/>

Reduserte energikostnader

For å kunne beregne lønnsomheten må søker legge inn reduserte energikostnader samt eventuelle inntekter fra energisalg for prosjektet.

Prosjekter innenfor programmet Støtte til passivhus og lavenergi benytter kun kolonnen redusert annen energi.

Legg inn priser og fyll inn antall kWh i tabellen nedenfor fordelt per år. Alle priser oppgis eks. mva

Ved å trykke på knappen "kopier" vil verdiene i raden fylles ut i påfølgende år.

Priser

Differanse energipris konvertering (øre/kWh)

(kun aktuelt for programmet Støtte til eksisterende bygg og anlegg)

Energipris elektrisk energi

Energipris annen energi

År	Konvertering kWh	Redusert elektrisk energi kWh	Redusert annen energi kWh	Sum energi- resultat kWh	Inntekt fra energisalg NOK	Sum redusert energikostnad NOK	
2012	0	0	0	0	0	0	Kopier
2013	0	0	0	0	0	0	Kopier
2014	0	0	0	0	0	0	Kopier
2015	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2016	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2017	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2018	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2019	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2020	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2021	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2022	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2023	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2024	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2025	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2026	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2027	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2028	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2029	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2030	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2031	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2032	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2033	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2034	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2035	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2036	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2037	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier
2038	0	473 387	0	473 387	0	520 726	Kopier

Drifts- og vedlikeholdskostnader

Søker legger inn merkostnader knyttet til drift og vedlikehold i prosjektet og fordeler de over prosjektets økonomiske levetid. Dersom søker har andre driftskostnader som ikke er spesifisert i listen, brukes parameteren "Andre driftskostnader" og kostnadene fordeles som nevnt ovenfor.

- Lønn - økte lønnskostnader for egne ansatte som følge av merinvesteringen.
- Drift - leveranse fra eksterne som følge av merinvesteringen.
- Vedlikehold - Stipulerte økte kostnader til reparasjoner og utbedringer for å opprettholde opprinnelige kvalitet.
- Service - Faste årlige kostnader til ettersyn av merinvesteringen.
- Resirkulering - Kostnad til avhending av merinvesteringen.

Ved å trykke på knappen "kopier" vil verdiene i raden fylles ut i påfølgende år.

År	Lønns- kostnader NOK	Drift NOK	Vedlikehold NOK	Service NOK	Re-sirkulering NOK	Andre drifts- kostnader NOK	Sum drifts- kostnader per år NOK	
2012	0	0	0	0	0	0	0	Kopier
2013	0	0	0	0	0	0	0	Kopier
2014	0	0	0	0	0	0	0	Kopier
2015	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2016	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2017	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2018	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2019	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2020	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2021	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2022	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2023	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2024	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2025	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2026	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2027	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2028	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2029	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2030	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2031	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2032	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2033	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2034	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2035	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2036	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2037	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier
2038	0	5 000	5 000	5 000	0	0	15 000	Kopier

Finansiering

Søker legger inn den totale finansieringen av prosjektet fordelt på egenkapital, lånefinansiering og støtte som kan tilbys fra Enova. Selv om prosjektet består av flere del-investeringer i ulike komponenter er det kun den totale summen av investeringene som skal legges inn.

Finansiering (kroner)

Totale investeringer	9 907 829
Egenfinansiering + annen finansiering	6 014 679
Støttebehov (inkl eventuell støtte til rådgivning)	3 893 150

Byggetekniske utfordringer ved å bygge Bodø videregående skole som passivhus.

Structural challenges by building Bodø vgs. as passive.

Ragnhild Schrøder og Lars-Øystein G. Plassen

Universitetet for Miljø- og Biovitenskap

Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave 2012 – 30 studiepoeng