

Klimatförändringens inverkan på tilläggsisolerade konstruktioner

Jan Järvinen

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningen i byggnads- och samhällsteknik

Raseborg 2023

EXAMENSARBETE

Författare: Jan Järvinen

Utbildning och ort: Utbildningen i byggnads- och samhällsteknik, ingenjör (YH), Raseborg

Inriktning: Konstruktionsplanering

Handledare: Towe Andersson

Titel: Klimatförändringens inverkan på tilläggsisolerade konstruktioner

Datum: 13.2.2023 Sidantal: 39 Bilagor: 5

Abstrakt

I detta examensarbete behandlas klimatförändringen i Finland samt dess inverkan på tilläggsisolerade konstruktioner i ett klimat som motsvarar södra Finlands. Syftet med arbetet var att undersöka hurdan inverkan klimatförändringen har från ett byggnadsfysikaliskt perspektiv på befintliga konstruktioner som tilläggsisoleras. Utöver detta granskades tilläggsisoleringens inverkan på energiprestandan i mantelkonstruktionerna.

I arbetet presenteras den teoretiska bakgrunden till byggnadsfysiken som undersöks i arbetet. Byggnadsfysikalisk funktionalitet granskas i exempelkonstruktioner med hjälp av diffusionsberäkningar. Beräkningarna baserar sig på aktuella standarder som används inom fuktteknisk dimensionering och parametrarna på prognoser från Meteorologiska institutet i Finland. Utöver beräkningarna så bearbetas andra klimatfaktorer som belastar byggnadsbeståndet i framtiden.

Resultaten visar att en tilläggsisolering kräver sakkunnig planering då klimatet påfrestar mera än förr. Största påfrestandan är ökade relativa luftfuktigheten vilket ger gynnsamma förhållanden för mögeltillväxt i mantelkonstruktionerna. Tilläggsisoleringen sänker på temperaturen i yttersta materialskikten som kan förstärka mögelbildningen. Beräkningarna påvisar att ångdiffusionen inte orsakar problem då konstruktionerna är planerade på rätt sätt. En risk för omvänd diffusion, där ångan diffunderar utifrån in framkommer då utomhustemperaturen stiger i framtiden. Felkonstruerade byggnadsdelar fungerar byggnadsfysikaliskt allt sämre i framtidens klimat.

Energiprestandan i en konstruktionsdel följer inte en linjär funktion. Detta innebär att tilläggsisoleringens tjocklek inte ger lika stor nytta för varje enhet av tillagd isolering. Vid kostnadskalkyler av energisäneringen rekommenderas detta att tas i beaktan.

Språk: svenska

Nyckelord: klimatförändring, tilläggsisolering, energisänering

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Jan Järvinen

Koulutus ja paikkakunta: Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri (AMK), Raasepori

Suuntautumisvaihtoehto: Rakennesuunnittelu

Ohjaaja: Towe Andersson

Nimike: Ilmastonmuutoksen vaikutukset lisäeristettyihin rakenteisiin

Päivämäärä: 13.2.2023

Sivumäärä: 39

Liitteet: 5

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä käsitellään ilmastonmuutoksen vaikutuksia lisäeristettyihin rakenteisiin ilmastossa, joka vastaa Etelä-Suomen ilmastoa. Opinnäytetyön päämääränä oli tarkastaa ilmastonmuutoksen vaikutuksia rakennusfysiikan näkökulmasta. Tämän lisäksi tarkastettiin vaipparakenteiden energiatehokkuusvaikutuksia lisäeristyssaneerauksen jälkeen.

Opinnäytetyössä käsitellään aihealueen teoreettinen tausta. Rakennusfysikaalinen tarkastus suoritettiin esimerkkirakenteisiin diffuusiolaskelmia hyödyntäen. Laskelmat perustuvat nykyisiin standardeihin, joita Suomessa käytetään kosteusteknisessä suunnittelussa. Ilmastoparametrit perustuvat Ilmatieteenlaitoksen julkaisemiin prognooseihin tulevaisuuden ilmastosta. Näiden lisäksi käsiteltiin muita ilmastotekijöitä, jotka rasittavat nykyistä rakennuskantaamme tulevaisuudessa.

Tuloksissa korostuu, että lisäeristäminen vaatii suunnittelijalta asiantuntijuutta ilmaston muuttuessa. Suurimmat muutokset tapahtuvat suhteellisen ilmankosteuden noustessa, joka antaa otolliset olosuhteet homekasvustolle vaipparakenteissa. Lisäeristäminen laskee uloimpien rakennekerrosten lämpötilaa, joka edesauttaa homekasvua. Laskelmista huomataan, ettei höyrydiffuusio tuota ongelmia tulevaisuudessa, mikäli rakenteet suunnitellaan kosteusteknisesti toimiviksi. Käänteisen diffuusion riski kasvaa ulkolämpötilan noustessa tulevaisuudessa, kun rakennuksia jäädytetään. Tulevaisuudessa väärin rakennetut rakenteet toimivat entistä huonommin.

Rakenneosan energiatehokkuus ei seuraa lineaarista funktiota. Tämä tarkoittaa, että lisätty eristepaksuus ei tuota yhtä suurta hyötyä sen kasvaessa, kun eristepaksuutta lisätään. Tämä on hyvä huomioida kustannuslaskelmia tehdessä.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: ilmastonmuutos, lisäeristys, energiasaneeraus

BACHELOR'S THESIS

Author: Jan Järvinen

Degree Programme: Construction and Civil Engineering

Specialisation: Structural Design

Supervisor: Towe Andersson

Title: The Climate Changes Effects on Supplementary Insulated Structures

Date: 13.2.2023

Number of pages: 39

Appendices: 5

Abstract

This thesis covers how the climate change affects supplementary insulated structures in a climate that of southern Finland. The purpose was to investigate how the climate change affects structures when it comes to building physics when we supplementary insulate houses. The changes in energy performance were also investigated on supplementary insulated structures.

This thesis presents the theoretical background of building physics that was implemented in this work. The buildings physical functionality was checked with construction examples using diffusion calculations. The calculation equation theory was based on standards that are actively used in Finland. Climate change parameters were taken from prognoses published by the Finnish Meteorological Institute. Additionally other climate factors that burden our buildings were checked.

The results show that supplementary insulated structures demand competent planning when our climate poses more challenges in the future. The biggest challenge is an increase in the relative humidity outside which provides favourable habitats for growth of mould in the outer layers of our constructions. The supplementary insulation also lowers the temperature inside the structures' outer layers, which is also favourable for mould growth. The diffusion calculations prove that the diffusion of water vapour will not be a problem in the future when constructions are planned correctly. There is a risk of reversed diffusion when the outside temperature rises in the future and constructions are cooled down. Faulty built constructions will be even more at risk in the future.

Energy efficiency does not follow a linear function when we supplementary insulate constructions. This means that the more supplementary insulation we add, the less efficiency we get for every unit of added insulation. This is necessary to consider when conducting cost estimates of an energy renovation.

Language: swedish

Key words: climate change, supplementary insulation, energy renovation

Innehållsförteckning

Begrepp.....	1
1 Inledning.....	1
1.1 Syfte.....	2
1.2 Frågeställningar.....	2
1.3 Avgränsning.....	2
2 Byggnadsfysik.....	4
2.1 Värme.....	4
2.2 Luftrörelser.....	4
2.3 Fukt.....	5
2.3.1 Fukttransport.....	5
2.4 Mättnadsånghalt.....	6
2.5 Relativ fuktighet.....	6
2.6 Byggnadsfysikaliska beräkningar.....	6
2.7 U-värde.....	7
2.8 Fuktteknisk dimensionering.....	7
2.9 Fuktillskott.....	8
3 Klimatförändring.....	9
3.1 Temperatur.....	9
3.2 Moln.....	10
3.3 Nederbörd.....	10
3.4 Vindar.....	11
3.5 Klimatförändringens inverkan på konstruktioner.....	11
4 Tilläggsisolering och energiprestanda.....	12
4.1 Energikrav.....	12
4.2 Befintliga byggnaders energieffektivitetskrav vid saneringar.....	13
4.3 Tilläggsisolering av ytterväggar.....	14
4.4 Tilläggsisolering av vindsbjälklaget.....	14
4.5 Energibalans i småhus.....	15
4.6 Diffusionsspärr och ångbroms.....	16
4.7 Isoleringmaterial.....	16
4.7.1 Kutterspån.....	16
4.7.2 Träfiberisolering.....	17
4.7.3 Mineralull.....	17
4.7.4 Polystyren.....	18
4.8 Energiprestanda i konstruktioner.....	19

5	Exempelkonstruktioner.....	20
5.1	Teori till beräkningarna.....	20
5.2	Ytterväggar: US1 – Vanlig väggkonstruktion från 1970-talet.....	22
5.2.1	US1.1. tilläggsisolerad från utsidan.....	22
5.3	Ytterväggar: US2 – Vanlig väggkonstruktion från 1960-talet.....	27
5.4	Vindsbjälklag.....	29
5.4.1	Vindsbjälklag kutterspån.....	31
6	Energiprestanda.....	32
6.1	Energiprestanda på ytterväggar.....	32
6.2	Energiprestanda på vindsbjälklag.....	33
7	Sekundära riskfaktorer.....	35
7.1	Mögel.....	35
7.2	Rimfrost.....	36
8	Analys av resultaten.....	37
8.1	Analys av resultaten för ångdiffusionen.....	37
8.2	Analys av resultaten för energiprestandan.....	38
9	Avslutning och diskussion.....	39
10	Källförteckning.....	40
	Bilagor.....	

Begrepp

Daggpunkt: Den temperatur som luften måste vara för att vattenånga i luften skall ändra från gasform till flytande.

Energibalans: Tillskott respektive förlust av energi i en byggnad.

E-tal: Byggnadens beräknade årliga förbrukning av köpt energi per år. (kWh/m²a)

Hygroskopiskt material: Ett material som binder till sig och avger fukt från sig.

Köldbrygga: Konstruktionsdel som är i kontakt med kalla utsidan av en konstruktionsdel och leder värme bättre än omgivande material.

Mättnadsånghalt: Mängd vattenånga som luften kan bära vid en angiven temperatur. Anges i gram per kubikmeter (g/m³).

U-värde: Värmegenomgångskoefficient. (W/m²K)

Relativ fuktighet (RH): Kvoten av ånghalten och mättnadsånghalten. Anges i procent (%).

Ånghalt: Mängd vattenånga i luften. Anges i gram per kubikmeter (g/m³).

1 Inledning

Klimatförändringen är mycket på tapeten och är ett faktum som förändrar den värld vi lever i. Det har skett stora förändringar inom byggbestämmelserna i Finland för att motverka klimatförändringens utveckling under 2000-talet. En av förändringarna har varit allt högre krav på energiprestandan i både nya och befintliga byggnader. I nybyggen är de skärpta energikraven inte svåra att uppfylla, eftersom konstruktionerna kan planeras med hänsyn till tjockare isoleringsskikt. I befintliga byggnader är lösningarna dock relativt begränsade. En effektiv lösning är en tilläggsisolering av mantelkonstruktionerna för att uppnå en lägre värmegenomgång i konstruktionsdelarna. Tilläggsisolerade konstruktioner ändrar alltid på konstruktionsdelens tekniska egenskaper, vanligen i form av förändrade fukt- och värmeförhållanden i byggnadsdelen. (Vinha et al., 2013, s. 1-2)

Förändrade fukt- och värmeförhållanden kan presentera utmaningar då det kommer till byggnadsfysikalisk funktionalitet. Inom konstruktionsplanering har man länge känt till mekaniken, statiken och hållfastheten i material och i beräkningarna används alltid anpassade säkerhetsfaktorer. Detta är inte fallet då byggnadsfysikaliska beräkningar utförs. Byggnadsfysikalisk dimensionering kräver ett teoretiskt kunnande inom byggnadsfysiken för att ha en helhetsuppfattning av värme- och fukttransporten i konstruktionerna. Utöver detta krävs en förståelse för påfrestningar som orsakas av väderförhållanden under normala och extrema förhållanden. Byggnadsfysikalisk funktionalitet är betydligt svårare att simulera om man jämför t.ex. med hållfastheten i konstruktionerna. Detta beror på att fukt och värme transporteras på flera olika sätt. (Vinha et al., 2013, s. 1-2)

I Finland har klimatförändringen ökat på medeltemperaturen och mängden nederbörd under uppmätt historia. Denna trend förutspås vara växande i framtiden. Ökade mängden nederbörd höjer på relativa fuktigheten utomhus, vilket påfrestar den byggda miljön allt mera. Utöver dessa faktorer så förutspås det att molnigheten och vindarna ökar i viss mån.

Detta examensarbete behandlar byggnadsfysiken med en djupdykning på tilläggsisolerade konstruktioner. I arbetet presenteras den teoretiska bakgrunden och tillämpas därefter på konstruktionstyper som är vanliga i Finland. Arbetet behandlar klimatparametrar som förutspås infinna sig år 2050 i södra Finland. Utöver dessa så presenteras även jämförelser i energiprestandan i diverse konstruktionsdelar då en tilläggsisoleringssanering utförs.

1.1 Syfte

Syftet med detta arbete är att undersöka klimatförändringens inverkan på tilläggsisolerade konstruktioner i ett klimat som motsvarar södra Finlands. I arbetet bearbetas vanliga konstruktionslösningar för att granska deras funktionalitet nu och i framtiden då det kommer till byggnadsfysikaliska faktorer.

Arbetets huvudfokus ligger inom byggnadsfysiken, i detta fall fukttransporten i konstruktioner då befintliga konstruktioner tilläggsisoleras. Utöver detta utreds fördelarna med att tilläggsisolera byggnader då det kommer till energiprestandan.

1.2 Frågeställningar

Detta examensarbete försöker besvara följande frågeställningar:

1. Hurdana byggnadsfysikaliska inverknings har klimatförändringen på tilläggsisolerade konstruktioner?
2. Hur påverkar tilläggsisoleringen fukttransporten i konstruktionen då byggnaden är uppvärmd?
3. Hur påverkar tilläggsisoleringen fukttransporten i konstruktionen då det är kallare inomhus än utomhus?
4. Hur påverkar tilläggsisoleringen energiprestandan i en konstruktion?

1.3 Avgränsning

Arbetet avgränsas till småhus där befintliga väggkonstruktioner är uppbyggda av bärande träregelstomme med isoleringsmaterial mellan reglerna. Vindsbjälklagskonstruktionerna avgränsas till bärande takstolar i trä. Bottenbjälklaget berörs inte alls i arbetet eftersom de p.g.a. sin arbetsdryga natur sällan tilläggsisoleras. Dessa former av konstruktionslösningar påträffas vanligen i det befintliga byggnadsbeståndet i Finland.

Klimatet i världen nu och i framtiden är mycket olika beroende på var mätningarna utförs. P.g.a. detta avgränsas arbetet att behandla ett klimat och den förutspådda klimatförändringen som motsvarar södra Finlands. Byggnadsfysikaliska beräkningar utförs med data som representerar ett klimat som motsvarar det klimatet som förutspås råda år 2050 i södra Finland.

Målsättningen med tilläggsisoleringen är att uppfylla de krav som byggbestämmelserna kräver i Finland. Detta innebär att befintliga konstruktionsdelens U-värde bör halveras eller uppfylla de krav som ställs för nya byggnader. I arbetet bearbetas byggnadsfysiken i form av fukt- och värmetransport samt annan problematik med fukt i byggnader. Byggfukt tas inte i beaktan, eftersom befintliga konstruktionerna är sannolikt årtionden gamla. (Miljöministeriets förordning 4/13)

Byggnader planeras vanligen att hålla 50 eller 100 år i Finland. Eftersom detta arbete behandlar befintliga konstruktioner som tilläggsisoleras så antas det att ursprungliga konstruktioner är före 2000-talet byggda.

2 Byggnadsfysik

Byggnadsfysik är en kunskap som behandlar värme, fukt och luftrörelser i byggnader. Byggnadsfysik som forskningsområde behandlar konstruktioner och materials fukt- och värmetekniska egenskaper och utomstående faktorer som påverkar inomhusklimatets kvalitet. Med hjälp av denna kunskap kan sunda byggnader dimensioneras och onödiga problem undvikas. I detta kapitel behandlas alla de delområden inom byggnadsfysiken som har relevans för detta examensarbete.

2.1 Värme

Värme är molekyler som vibrerar utan att ha en specifik rörelseriktning. Värme lagras och transporteras på olika sätt beroende på egenskaperna materialet har. Olika material har olika värmelednings- och värmelagringsegenskaper. Värme har möjlighet att transporteras på flera olika sätt. Dessa sätt är ledning, konvektion och strålning. (Hagentoft, 2002, s. 47)

Då värme transporteras genom ledning innebär det att atomer och molekyler har en hög vibration som fortplantar sig vidare till områden med lägre vibration. På så sätt kan energin ledas vidare inom ett material eller från material till material. För värmeledningsförmågan används också termen värmekonduktivitet. Värmekonduktiviteten har storheten λ och enheten W/mK. I byggnadsmaterial används storheten λ för att beskriva materialets värmeledningsförmåga. Ju lägre värde, desto sämre leder materialet värme och därför har material med bra isoleringsförmåga ett lågt λ -värde. (Bokalders, 2011)

Konvektion, alltså värmeströmning är då varma material flyttar sig från en plats till en annan. Detta kan t.ex. vara varma vattnet i ett fjärrvärmenätverk, där varma vattnet cirkulerar och medför värmen mellan byggnaderna. (Hagentoft, 2002, s. 48)

Strålning till skillnad från konvektion och ledning kräver ingen materia, alltså värme kan strålas genom vakuum. Ett exempel på detta är solens strålar som förflyttar sig genom rymden till jorden eller en varm eldstad i huset. (Hagentoft, 2002, s. 51)

2.2 Luftrörelser

Ju varmare luften är, desto lägre densitet har den och volymen på luften ökar. Rent praktiskt orsakar detta att varm luft stiger uppåt i relation till kallare luft. Luftrycksskillnader orsakar att luftmassor rör sig från högtryck till områden av lågtryck. Byggnader har generellt sett högre temperatur än utomhus, vilket gör att en tryckskillnad uppstår. Denna tryckskillnad kan orsaka luftrörelser genom mantelkonstruktionerna av byggnaden ifall de inte är fullständigt täta. (Hagentoft, 2002, s. 62)

2.3 Fukt

Enligt den allmänna gaslagen är antalet gasmolekyler i luften konstant då trycket är konstant. Då vattenmolekylernas halt ökar i luften så måste mängden av andra gasmolekyler minska. Vattenmolekylerna i sin del är lättare än många andra gasmolekyler p.g.a. sin kemiska struktur. Detta innebär att luft med högre relativ fuktighet är lättare i jämförelse till torr luft. (Hagentoft, 2002, s.61–62)

2.3.1 Fukttransport

Fukt kan transporteras i material genom kapillärsugning, diffusion, konvektion eller gravitation.

Kapillärsugning är då vatten transporteras i material i sin vätskefas. Vattnets ytspänning och materialets porväggar orsakar en attraktionskraft som får vattnet att förflytta sig inom materialet. Kapillärkraften är som effektivast då materialet i fråga är poröst. Vanliga fuktskador i byggnader som orsakas av kapillärtransport är t.ex. röta i syllen och stomstolparna ifall ett kapillärbrytande skikt inte installerats. (Hagentoft, 2002, s. 88–94)

Fuktig luft eller fukt i ett material tenderar att jämna ut fukten till torrare luft eller material. Denna jämnning eller transport av fukt kallas för diffusion. Fuktskador som vanligen sker genom diffusion är t.ex. markfukt som stiger via luftrummet i krypprunden till bottenbjälklaget av byggnaden. (Hagentoft, 2002, s.85–87)

Konvektion är en effektiv transportmetod för fukt. Konvektion drivs av tryckskillnader mellan t.ex. en ytterväggs insida och utsida. Som tidigare nämnts i kapitel 2.2 så jämnar tryckskillnaderna ut sig genom att högtryck flyttar sig mot lågtryck. Detta kan orsaka fuktskador i byggnader t.ex. om ångspärren är punkterad. Tryckskillnaden orsakar att stora luftvolymmer kan passera väggen genom hålet som uppstått. Om fukthalten i luften är hög inomhus så kan det orsaka att konstruktionen blir ner fuktad vid hålet. (Hagentoft, 2002, s. 87)

Gravitation är en effektiv transportmetod för fukt. Vatten har en egenskap att söka sig genom små håligheter med hjälp av jordens dragningskraft. I enklaste fall kan detta vara ett hål i vattentaket på en byggnad. Läckage i vattentaket orsakar ofta stora skador om de inte upptäcks i tid.

2.4 Mättnadsånghalt

Mättnadsånghalten är den maximala ånghalten luft kan bära i en viss temperatur och lufttryck. Ju högre temperaturen är, desto högre blir mättnadsånghalten. Mättnadsånghalten kan avläsas som tabellvärden då beräkningar utförs. Ifrågavarande tabeller är presenterade i bilagorna 2 och 3. (Kapillaari, 2021)

2.5 Relativ fuktighet

Relativa fuktigheten (RH) är ett vanligt använt mått för luftfuktigheten både inom- och utomhus. Relativa fuktigheten varierar enligt årstid i Finland. Vanligen ses högre RH värden under kalla vinterdagar och lägre RH under varma sommardagar. Detta beror på att kalla vinterluften kan binda mindre fukt till sig före den blir mättad medan varma luften kan binda i sig mera. (Kapillaari, 2021)

I formeln nedan presenteras hur RH inomhus beräknas. Då RH når 100% så kondenseras vattenångan och ändrar från gasform till vätskeform.

$$RH_{inne} = \frac{C_{inne}}{C_{kinne}} \quad (1)$$

C_K = Mättnadsånghalt vid rådande temperatur

$$C_{ute} = RH_{ute} * C_{Kute}$$

$$C_{inne} = C_{ute} + C_T$$

C_T = Fukttillskottet, baserar sig på byggnadens användningssätt (se tabell 1)

$$C_{Kinne} = \text{Mättnadsånghalt inne}$$

2.6 Byggnadsfysikaliska beräkningar

Inom byggnadsfysiken och fuktteknisk dimensionering är olika beräkningar i en väsentlig roll. Genom beräkningarna kan fukttransporten simuleras och på så sätt fuksäkra konstruktioner planeras. Beräkningarna möjliggör också att t.ex. kraven för energiprestandan uppfylls enligt diverse direktiv.

2.7 U-värde

Ett U-värde representerar värmegenomgångskoefficienten för en kvadratmeter yta av en konstruktionsdel. Rent praktiskt innebär detta att U-värdet förklarar hur mycket värme som leds genom en m² yta då temperaturskillnaden är en grad. Ju lägre U-värdet är, desto bättre isolerar konstruktionsdelen.

I beräkningen av U-värdet tas i beaktan diverse materialskikt som finns i konstruktionsdelen. Konstruktionsdelar är sällan uppbyggda av fullständigt homogena skikt. Ifall konstruktionsdelen har inhomogena skikt, som t.ex. bärande träreglar med isolering mellan sig så bör det tas i beaktan då beräkningar utförs. Detta är p.g.a. att materialen har olika värmeledningsförmåga sinsemellan. I ekvation 2 som är presenterad nedan kan ses beräkningen av U-värdet enligt SFS-EN ISO 6946:2017 standarden.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (2)$$

$$R_T = R_{SI} + R_1 + R_2 \dots + R_{SE}$$

R_{SI} = *Värmeövergångsmotståndet på insidan av konstruktionen*

R_{SE} = *Värmeövergångsmotståndet på utsidan av konstruktionen*

$$R_1 = \frac{\text{Materialets tjocklek}}{\text{Värmeledningsförmågan}}$$

2.8 Fuktteknisk dimensionering

En fuktteknisk dimensionering innebär att med hjälp av beräkningar reda ut hur vattenånga transporteras genom diffusion i en konstruktion eller ett byggnadsmaterial. Vanligen granskas materialskiktens kontaktyta med varandra då ånggenomsläppligheten hos materialen är olika. Ett exempel på detta är kontaktytan mellan isoleringen och ångspärren där de två materialen har olika ånggenomsläpplighetsegenskaper. Med hjälp av beräkningarna kan det granskas om ångan är i risk för att kondensera då temperaturen sjunker i konstruktionsdelen och dagpunkten nås.

2.9 Fukttillskott

Fukttillskott är en parameter som beror på användningsändamålet av byggnaden som dimensioneras. I vanliga bostadsutrymmen används enligt RIL 107–2012 ett fukttillskott på $5\text{g}/\text{m}^3$. Den aktuella relativa fuktigheten inomhus räknas enligt följande:

Tabell 1 Dimensionerande värden för fukttillskottet.

Fuktklass	Dimensionerande fukttillskott på vintern ($T \leq 5^\circ\text{C}$)	Byggnadstyp
1	$>5\text{g}/\text{m}^3$	Badhus, simhall, storkök, tvätterier, bryggeri, boktryckeri, växthus, våtutrymmen, maneser, jordbrukets industrilokaler, djurskydd, fuktbelastade industriutrymmen
2	$5\text{g}/\text{m}^3$	Bostadshus, kontor- och affärsbyggnader, hotell, restauranger, mötes- och festsutrymmen, utbildningutrymmen, daghem, sjukhus, vårdanstalter, museum, idrottshallar, ishallar, kall- och frysrum, vinterbebodda fritidshus
3	$3\text{g}/\text{m}^3$	Fritidshus, kalla byggnader, lagerutrymmen, fordonskydd, tekniska utrymmen, temporära byggnationer

(RIL 107-2012, s.19)

3 Klimatförändring

Största drivande faktorn för klimatförändringen är den s.k. växthuseffekten. Växthuseffekten innebär att olika gaser som finns i jordens atmosfär försvårar solstrålarna från att reflekteras tillbaka ut i rymden från jordens yta. Detta leder i sin tur till att temperaturen på planeten ökar. Största drivande faktorn är växthusgasernas halt i atmosfären. Dessa gaser är t.ex. koldioxid och metan, men det finns även andra gaser som inverkar i atmosfären. Gaserna uppkommer huvudsakligen naturligt. Människan bidrar i en viss mån till gasernas uppkomst, speciellt koldioxidutsläppen. (Britannica, 2023)

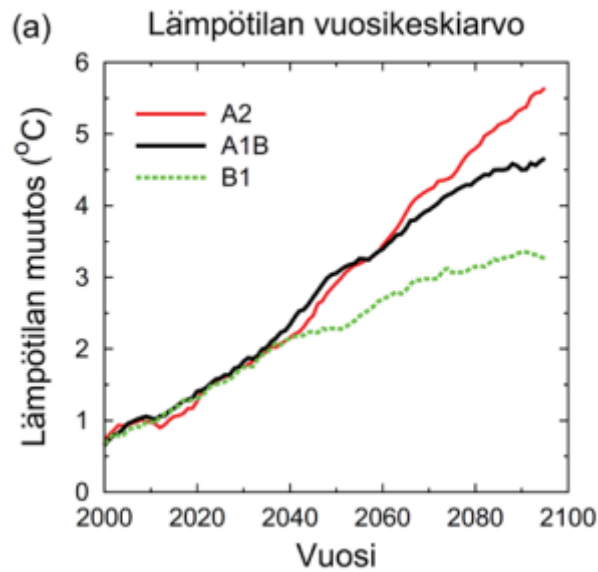
Klimatförändringens inverkan syns redan i Finlands klimat. Största inverkan syns i förändringar i temperatur, molnighet, nederbörd och vindar. I detta kapitel behandlas klimatförändringen som råder i Finland nu och i framtiden. Kapitlen baserar sig långt på prognoser gjorda av Meteorologiska institutet i samråd med Tammerfors tekniska universitet.

3.1 Temperatur

Under senaste 40 åren har medeltemperaturen stigit med 0,2–0,4 Celsiusgrader. Enligt prognoserna kommer temperaturstigningen att öka i framtiden. Det spekuleras att medeltemperaturen stiger 1,5–3,5 Celsiusgrader under nästa 50 år. (Meteorologiska institutet)

Temperaturförändringarna orsakar att tiden då marken är snötäckt minskar under vinterhalvåret. Även tjäldjupet i marken minskar och marken är i genomsnitt våtare vilket leder till att bärigheten försämras. (Klimatguiden, 2017)

I figur 1 nedan kan ses grafiskt presenterat tre olika växthusgasscenarion som uppgjorts för att framställa en prognos för framtidens förändring i medeltemperaturen. Scenariot B1 representerar en optimistisk förändring där växthusgasutsläppens mängd har minskat radikalt före århundradets slut. A1B scenariot representerar ett scenario där utsläppen har minskat men inte lika mycket som planerat. A2 scenariot representerar en fortsatt ökning på växthusgaser i framtiden. Dessa samma växthusgasscenarier har använts i figur 2 för att presentera mängden nederbörd.



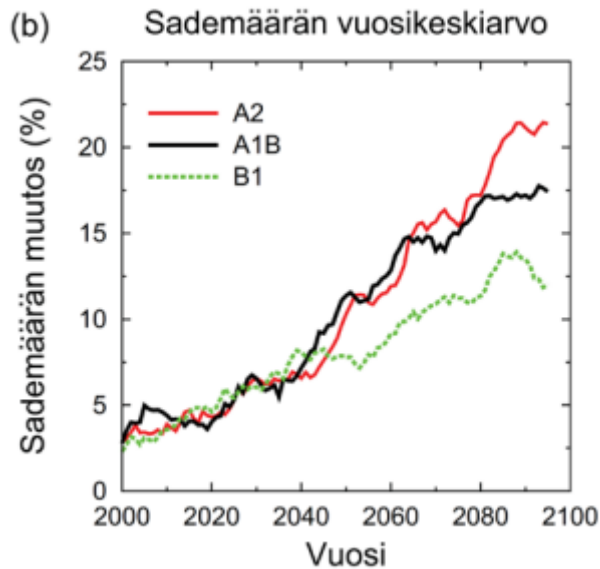
Figur 1 Medeltemperaturens ökning, årlig prognos för medeltalet i Finland. (Vinha et al., 2013, s. 69)

3.2 Moln

Det spekuleras att klimatet kommer vara allt molnigare under vintern i framtiden. Detta leder till en färre mängd soliga dagar. Under sommaren förväntas inga större förändringar att ske. (Klimatguiden, 2017)

3.3 Nederbörd

Utöver temperaturförändringarna så sker det även förändringar i mängden nederbörd. Om dagens prognoser stämmer så kommer finska klimatet att bli allt regnigare i framtiden. Regnmängderna kommer speciellt att öka under vintern och torra perioderna under vintern kommer att minska. Under sommaren kommer skyfallens intensitet att öka. (Klimatguiden, 2017)



Figur 2 Nederbördens ökning, årlig prognos för medeltalet i Finland. (Vinha et al., 2013, s. 69)

3.4 Vindar

Klimatförändringens inverkan på vindarna är svårare att förutspå och prognoserna är mycket varierande. Enligt Gregor et al. (2020) kommer klimatförändringen sannolikt att öka litet på vindhastigheten under höstarna i framtiden. Utöver detta så har trenden för vindhastigheten under årtionden varit nedåtgående. (Gregow, Rantanen, Laurila & Mäkelä, 2020)

Enligt andra prognoser kommer vindhastigheterna under stormväder att öka, speciellt vid södra kusten i Finland. (Klimatguiden, 2017)

3.5 Klimatförändringens inverkan på konstruktioner

Klimatförändringsfaktorerna som presenterats tidigare i detta kapitel orsakar påfrestningar för byggnaders mantelkonstruktioner. Dessa påfrestningar har historiskt sett varit sällsynta i ett finskt klimat. På grund av ökningen i nederbörden och fuktförhållanden så minskar upptorkningen och torktiden förlängs i konstruktionerna. Slagregnen ökar på fuktbelastningen på mantelkonstruktionerna. Dessa ovannämnda faktorer ökar risken för mögel- och mikrotillväxt i konstruktionerna. Även kondenserande fukt kan orsaka problematik. (Vinha et al., 2013, s.69-70)

4 Tilläggsisolering och energiprestanda

Urbaniseringen ökade kraftigt i Finland på 1960–1970-talen. Detta orsakade ett stort behov att bygga bostäder för populationen. Under dessa tider var byggkvaliteten låg och krav på energieffektiviteten betydligt lägre än idag. Byggnader byggda under dessa tider är vanligen i behov av större saneringar på 2020-talet. En tilläggsisolering är vanligen en stor sanering och därför utförs vanligen i samband med andra stora saneringar. (Nieminen, Kouhia, Ojanen & Knuuti, 2013)

4.1 Energikrav

I tabell 2 presenteras historiska värden för värmemotståndskrav som använts inom husbyggande i Finland. Ju lägre värde, desto högre isoleringskrav har konstruktionsdelen. Det kan ses i tabellen hur kraven har ökat markant under årens lopp. År 2017 stadgades de senaste värmemotståndskraven som används idag (se bilaga 1). Dessa krav har inte ändrat för ifrågasvarande konstruktionsdelar som planeras i ett varmt utrymme. Värden appliceras på nybyggda hus.

Tabell 2 Värmemotståndskrav på konstruktionsdelar genom åren. Två första kolumnerna representerar riktvärden som RIL utgett. Åren 1976 framåt representerar värden stadgade i Finlands byggbestämmelsesamling. Enhet W/m²K.

	Rakennusluvan vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-
Lämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,40	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Maavarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintättilainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0
Puolilämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,60	0,45	0,40	0,38	0,26	0,26
Maavarainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,36	0,34	0,24	0,24
Ryömintättilainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,30	0,28	0,26	0,26
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Yläpohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Ovi	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8	1,4	1,4
Ikkuna	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	1,8	1,8	1,4	1,4

(VTT, 2013)

4.2 Befintliga byggnaders energieffektivitetskrav vid saneringar

Enligt Miljöministeriets förordning 4/13 (2013) så måste en energieffektivitetsförbättring utföras alltid då en sanering som kräver lov från byggnadstillsynen utförs och det är tekniskt och ekonomiskt motiverat att göra. I sista hand har fastighetsägaren ansvaret att bestämma vilka åtgärder som utförs för att förbättra energiprestandan i byggnaden. Energisaneringens omfattning är anknuten till saneringsobjektet och primära saneringens omfattning. Ett av alternativen är att förbättra energieffektiviteten i enskilda konstruktionsdelar enligt tabell 3 nedan. Andra alternativet som appliceras vanligen då större helheter saneras är presenterade i tabell 4.

Tabell 3 U-värdes krav på enskilda konstruktionsdelar. (Miljöministeriets förordning 4/13)

Åtgärdad konstruktionsdel	U-värdeskrav på reparerad konstruktionsdel
Yttervägg	1) Ursprungliga U-värdet * 0,5 eller U-värdet maximalt 0,17W/m ² K 2) Vid ändring av byggnadens användningssätt som i punkt 1 eller U-värdet minst 0,6W/m ² K
Tak	1) Ursprungliga U-värdet * 0,5 eller U-värdet maximalt 0,09W/m ² K 2) Vid ändring av byggnadens användningssätt som i punkt 1 eller U-värdet minst 0,6W/m ² K
Bottenbjälklag	U-värdet förbättras om möjligt; värdet får inte försämrans
Fönster och dörrar	1) Nya fönster och dörrar: U-värdet maximalt 1,0W/m ² K 2) Gamla fönster och dörrar: Vid reparation förbättras U-värdet om möjligt

Tabell 4 E -värdes krav för sanerade byggnader. (Miljöministeriets förordning 4/13)

Byggnadstyp	Energiförbrukning (kWh/m ²)	Krav på E-tal (kWh/m ²)
Små-, rad- och kedjehus	180	0,8 * E-beräknad
Bostadshöghus	130	0,85 * E-beräknad
Kontor	145	0,7 * E-beräknad
Skolhus	150	0,8 * E-beräknad
Daghem	150	0,8 * E-beräknad
Affärslokal	180	0,7 * E-beräknad
Hotell	180	0,7 * E-beräknad
Idrottshall	170	0,8 * E-beräknad
Sjukhus	370	0,8 * E-beräknad

4.3 Tilläggsisolering av ytterväggar

Tilläggsisolering av ytterväggar är ett relativt arbetsdrygt arbetsmoment som vanligen utförs i samband med större saneringar, t.ex. vid fasadsanering. Då befintliga konstruktionsdelen är i gott skick kan vanligen ny isolering tilläggas på den befintliga isoleringen. Ifall fukt eller andra skador upptäcks så är det välmotiverat att byta ut hela isoleringen.

Ytterväggens tilläggsisolering utförs antingen på insidan eller utsidan av befintliga konstruktionen. Båda sätten har sina fördelar, men vanligen anses utsidan som det bättre alternativet. Med att tillägga isoleringen på utsidan så kan det försäkras att bärande konstruktionerna hålls varma och detta minskar på risken för olika skador. Tilläggsisolering på utsidan kan orsaka utmaningar då det kommer till fasadens utseende, fönsterdjup och tillräckligt djup på taktäckorna. Tilläggsisolering på insidan kan orsaka problematik genom att väggkonstruktionerna är kallare än i ursprungliga konstruktionen. Utöver detta minskar inomhusvolymen i byggnaden.

4.4 Tilläggsisolering av vindsbjälklaget

I småhus har vindsbjälklaget vanligen bestått av takstolar i trä. Isoleringsmaterialet varierar långt enligt byggnadsår. Samma isoleringsmaterial har använts i vindsbjälklaget som i andra konstruktioner under rådande årtionde. På bilden (1) nedan kan ses en vanlig konstruktionstyp av ett ventilerat vindsbjälklag.

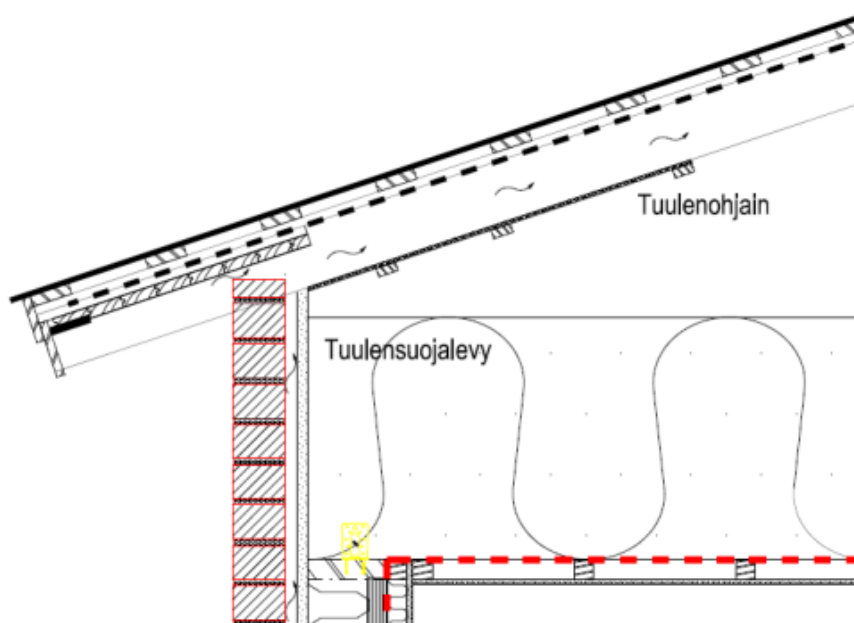


Bild 1 Vanlig vindsbjälklagskonstruktion. (Kotonen, 2018)

Ventilerade vindsbjälklag är generellt arbetsmässigt enkla och snabba att tilläggsisolera. Vanligen utförs tilläggsisoleringen genom att blåsa mineral- eller träfiberull på befintlig isolering. Enligt Kotonen (2018) är det viktigt före tilläggsisoleringen att granska tätheten av ångspärren/ångbromsen, försäkra sig om tillräcklig ventilering både på vinden och i väggen, granska vindavledarnas kondition samt granska att följande är sakligt isolerade; VVS rör, skorsten samt avloppsrörets ventilationsrör. Utöver dessa bör en anpassad tillträdesväg i vindsutrymmet byggas, eftersom ullen komprimeras lätt då man går på den och detta påverkar isoleringsegenskaperna.

4.5 Energibalans i småhus

Energibalansen i en byggnad representerar tillskottet och förlusten av energi för en byggnad. Tillskotten av energi kan vara både aktiva och passiva. Aktiva tillskott är t.ex. element, värmepumpar och eldstäder, vars uppgift är enkom att producera värmeenergi för byggnaden. Passiva tillskott är t.ex. elektronik, människor och solen. Då det kommer till energiförlusten i byggnader så finns det flera olika faktorer som inverkar. Faktorerna som orsakar värmeförlust är ventilation, avlopp samt byggnadens mantel. Från bilden nedan kan ses ett exempel på värmeförlusten i ett småhus. Enligt Virta & Pylsy så leds 12–18% av värmen genom vindsbjälklaget och 12–15% genom ytterväggarna. Dessa två konstruktioner behandlas noggrannare senare i detta arbete.

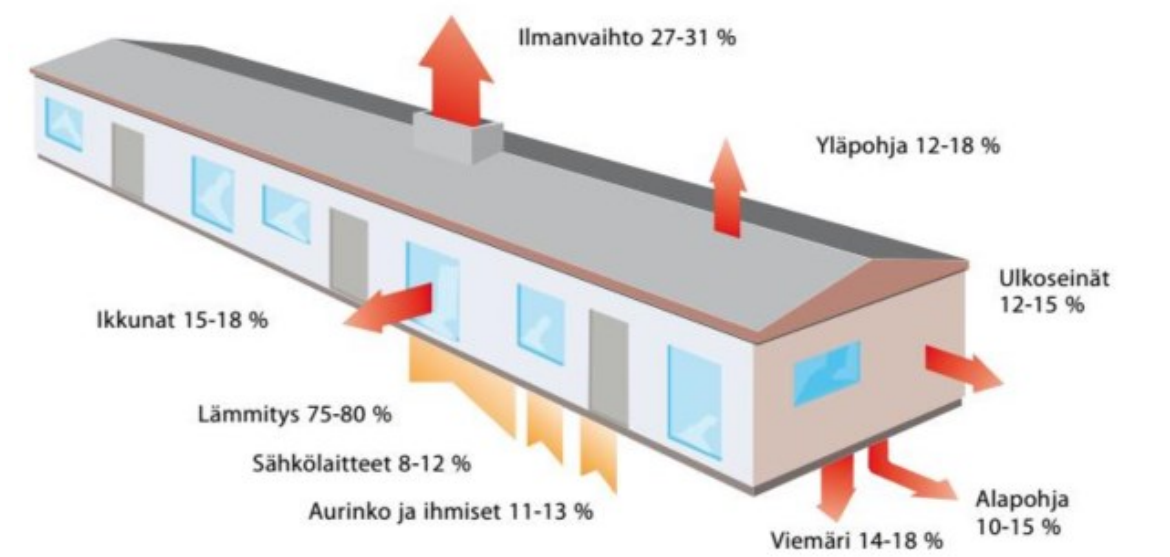


Bild 2 Energibalans för småhus. (Virta & Pylsy, 2011)

4.6 Diffusionsspärr och ångbroms

Både diffusionsspärren och ångbromsen används i stora drag av samma orsak. Tanken är att antingen bromsa eller blockera fukttransporten genom diffusion i konstruktionen. Skillnaden mellan dessa två är att ångbromsen har en diffusionsöppen struktur som möjliggör en begränsad fukttransport genom sig medan diffusionsspärren är fullständigt diffusionstät.

4.7 Isoleringsmaterial

I dagens värld finns det flera olika isoleringsmaterial att välja mellan. Huvudorsaken att välja ett specifikt isoleringsmaterial är de tekniska egenskaperna som materialet innehar. I kapitlen nedan presenteras kort de vanligaste isoleringsmaterialen som kan påträffas vid energisåningar för väggar och vindsbjälklag.

4.7.1 Kutterspån

Kutterspån fås från trämaterial som en biprodukt av fräsar, litet liknande sågspån från sågar. Kutterspån har länge varit det dominerande isoleringsmaterialet i Norden och det hittas även idag i renoveringsobjekt. Kutterspån används också i liten mån i dagens byggande men har stora begränsningar p.g.a. sina brandtekniska egenskaper. Sågspån har också använts under åren som isolering.

Kutterspån har tendensen att komprimeras under årens lopp vilket ger upphov till värmeläckor på områden med avsaknad isolering. Vanliga ställen är ytterväggskonstruktioner under fönster.



Bild 3 Kutterspån. (Heat energi)

4.7.2 Träfiberisolering

Träfiberisolering kan nästan ses som ett modernt alternativ till kutterspån. Träfiberisolering fås som en restprodukt från skogsindustrin där träflis och yttersta delar av trästockar har kombinerats för att tillverka ett luftigt isoleringsmaterial. Träfiberisoleringen är behandlat med brandhämmande impregnering vilket utvidgar dess användningsmöjligheter inom byggandet. Fördelen med denna typ av isolering är att den har hygroskopiska egenskaper. Träfiberisoleringen är också ett miljövänligt alternativ då den binder koldioxid. Träfiberisolering fås i både lösull och skivor.



Bild 4 Träfiberisolering. (Hunton)

4.7.3 Mineralull

Mineralull är ett av de vanligaste isoleringsmaterialen som används i dagens läge. Till mineralullen klassas både sten- och glasullen. Stenull produceras genom att smälta sten och sedan med hjälp av centrifugalkraft blåsa massan till ett luftigt material som påminner om ull. Glasull produceras huvudsakligen av återvunnet glas. Mineralull har bra brandtekniska egenskaper.

En nackdel med mineralullisolering är att värmekonvektion kan ske i isolerings skiktet, speciellt då tjockleken är stor. Detta innebär att luften i isoleringsmaterialet börjar flöda internt. Detta försämrar litet isoleringsegenskaperna för materialet.



Bild 5 Mineralull. (Raksystems)

4.7.4 Polystyren

Extruderad polystyren, även känd som XPS är ett isoleringsmaterial som produceras vanligen i hårda skivor. XPS har ett homogent material med sluten cellstruktur, vilket ger materialet bredare användningsmöjligheter än de två ovannämnda. Slutna cellstrukturen gör att XPS isolerar även om den utsätts för våta omständigheter. XPS är ett diffusionstätt material och kan användas även som diffusionsspärr.



Bild 6 Polystyren. (Plastindustrien)

4.8 Energiprestanda i konstruktioner

Värmeförlusten genom byggnadens mantel kan beräknas enligt följande formel som presenteras i Miljöministeriets förordning (1010/2017):

$$\Sigma H_{led} = \Sigma(U_{yttervägg}A_{yttervägg}) + \Sigma(U_{vindsbjälklag}A_{vindsbjälklag}) + \Sigma(U_{bottenbjälklag}A_{bottenbjälklag}) + \Sigma(U_{fönster} + A_{fönster}) + \Sigma(U_{dörr} + A_{dörr}) \quad (3)$$

ΣH_{led} = är värmeförlusten genom byggnadens klimatskal, $\frac{W}{K}$

U = är värmegenomgångskoefficienten för en byggnadsdel, $\frac{W}{m^2K}$

A = är byggnadsdelens area, m^2

5 Exempelkonstruktioner

I detta kapitel behandlas praktiska exempel på vanliga konstruktionslösningar i småhus som byggts på 1960- och 1970-talen i Finland. I kapitlet granskas konstruktionernas fukttekniska funktionalitet både i nuläge och i ett klimat som motsvarar år 2050. Utöver detta så tilläggsisoleras konstruktionerna för att uppnå minst det lagstadgade kravet för sanerade konstruktioner och den nya konstruktionens fukttekniska funktionalitet granskas.

Skärningsbilderna och beräkningarna är bearbetade och presenterade med hjälp av programmet DOF-lämpö-ohjelma. Programmet är utvecklat i samarbetet mellan DOF Tech Oy och Saint-Gobain Finland Oy.

5.1 Teori till beräkningarna

FRAME (2012) var ett projekt där klimatförändringens inverkan på konstruktioner forskades. I projektet undersöktes senaste 30 åren av mätresultat av RH och medeltemperaturen i olika delar av Finland. Projektteamet fastställde också prognoser för framtida RH och medeltemperaturer för samma mätställen. (Meteorologiska institutet) Till detta examensarbete fastställdes mätdata och projektioner som gjorts för Vanda. Vanda representerar ett klimat som motsvarar södra Finlands klimatförhållanden. Värden från tabellerna 5 och 6 används i fukt- och värmetekniska beräkningarna som utförs i detta arbete.

I tabell 5 presenteras medeltemperaturen för uppmätt historia och projektioner för framtida medeltemperaturer. Framtida projektioner baserar sig på växthusgasscenariot A2 som presenterades tidigare i kapitel 3.1. Växthusgasscenariot A2 innebär att växthusgasutsläppen fortsätter öka fram till år 2100.

Tabell 5 Byggnadsfysikaliska test år i Vanda. Medeltemperatur.

kk	Lämpötilan kk-keskiarvo [°C]		
	Vantaa 2007	Vantaa 2050	Vantaa 2100
Tammi	-2,5	0,2	3,9
Helmi	-9,3	-5,7	-1,8
Maalis	3,0	4,7	7,0
Huhti	5,2	7,0	9,4
Touko	11,6	13,3	15,5
Kesä	15,9	17,5	19,4
Heinä	17,3	18,8	20,7
Elo	17,1	18,6	20,6
Syys	11,2	12,9	15,1
Loka	6,3	7,9	10,4
Marras	-0,3	2,1	5,0
Joulu	1,6	3,8	6,8

(Vinha et al., 2013)

I tabell 6 presenteras medeltalet av RH för uppmätt historia och projektioner för framtida medeltal av RH. Även här baserar sig projektionerna för framtiden på växthusgasscenariot A2.

Tabell 6 Byggnadsfysikaliska testår i Vanda. Medeltal på RH.

kk	Suhteellisen kosteuden kk-keskiarvo [% RH]		
	Vantaa 2007	Vantaa 2050	Vantaa 2100
Tammi	90,8	92,5	94,4
Helmi	83,2	86,4	89,3
Maalis	82,8	83,0	83,7
Huhti	63,2	64,1	65,6
Touko	69,5	68,6	70,1
Kesä	60,4	60,0	59,0
Heinä	75,6	75,1	75,3
Elo	76,4	75,8	74,6
Syys	84,8	84,3	84,1
Loka	88,2	88,7	88,9
Marras	89,5	91,0	92,2
Joulu	93,8	94,7	95,7

(Vinha et al., 2013)

5.2 Ytterväggar: US1 – Vanlig väggkonstruktion från 1970-talet

I bilaga 4 kan ses en vanlig väggkonstruktion från ett radhus byggt på 1970-talet i Finland. Väggen är uppbyggd inifrån utåt av följande materialskikt; byggnadsskiva, ångspärr, träregelstomme med mineralullsisolering, vindskyddsskiva, ventilerad luftspalt och träfasad. Mineralullsisoleringen är inbyggd mellan träreglarna och är 150mm tjock. Ifrågavarande byggnad har för ytterväggens del ett U-värde på $0,24\text{W/m}^2\text{K}$, vilket är högre än dagens krav på $0,17\text{W/m}^2\text{K}$. Med andra ord uppfyller denna konstruktion inte dagens krav för energiprestandan.

I bild 7 ses skärningsritningen på ovannämnda ytterväggskonstruktion. I bilden representerar inringade "S" insidan av konstruktionen och "U" utsidan.

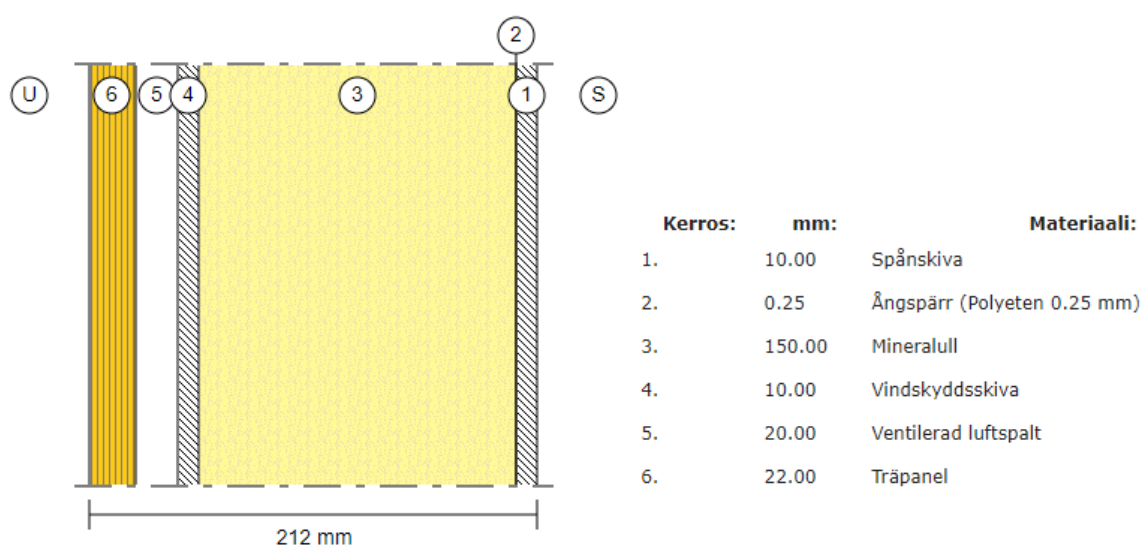


Bild 7 US1. Skärningsbild på vanligt använd ventilerad ytterväggskonstruktion från 1970-talet. U-värde $0,24\text{ W/m}^2\text{K}$.

5.2.1 US1.1. tilläggsisolerad från utsidan

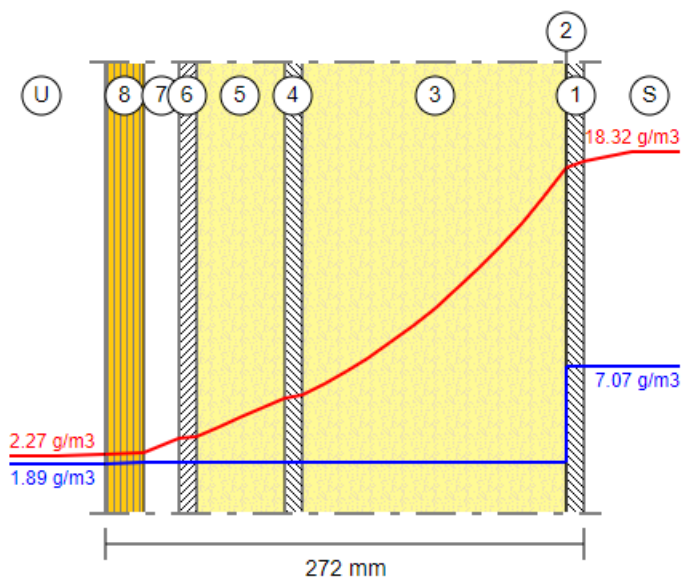
För att uppnå kraven för konstruktionsdelens energiprestanda efter tilläggsisolering så planerades en lodrät skålning med 50mm tjock mineralullsisolering mellan skålningen. Med hjälp av denna tilläggsisolering så uppnår ytterväggskonstruktionen ett U-värde på $0,16\text{W/m}^2\text{K}$, vilket uppfyller kraven enligt tabell 3.

I beräkningarna har använts kallaste enskilda månadens värden enligt Vanda 2007 mätresultaten. Mätresultaten för Februarimånad är följande; Temperatur ute $-9,3^{\circ}\text{C}$, RH ute 83,2%, Temperatur inne 21°C samt RH inne 38,6%. Värdena kan avläsas från tabellerna 5 och 6.

På bild 8 presenteras fukttransporten grafiskt inne i ytterväggen. På bilden representerar blåa linjen aktuella luftfukten i konstruktionen och röda kurvan daggpunkten.

Daggpunkten är en funktion av temperaturen och luftfuktigheten och är därmed ökande ju närmare varma inre väggskiktet den kommer. Ju högre temperatur, desto högre är daggpunkten i g/m^3 . Enligt nedanstående bild kan det avläsas att på varma sidan av ångspärren kan luften bära en fukt på $18,32\text{g}/\text{m}^3$. Aktuella ånghalten ligger på $7,07\text{g}/\text{m}^3$ vilket innebär att ingen kondensering sker.

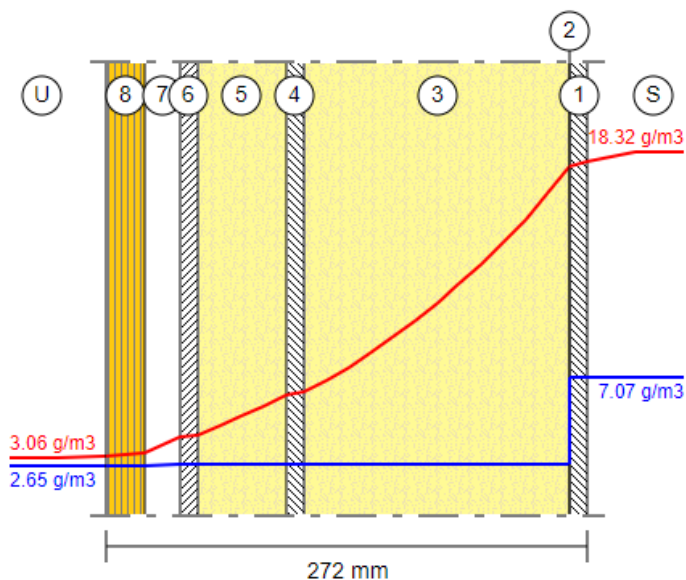
Grafiskt kan det avläsas då blåa kurvan korsar den röda finns det risk för kondensering. Enligt beräkningarna finns det ingen risk för kondensering i denna konstruktionstyp.



Kerros:	mm:	Materiaali:	W/mK:	Kylmäsilta:
1.	10.00	Spånskiva	0.140	-
2.	0.25	Ångspärr (Polyeten 0.25 mm)	0.330	-
3.	150.00	Mineralull	0.032	Träregel 48 mm K600 (8.00%)
4.	10.00	Vindskyddsskiva	0.110	-
5.	50.00	Mineralull	0.032	Träregel 48 mm K600 (8.00%)
6.	10.00	Vindskyddsskiva	0.110	-
7.	20.00	Ventilerad luftspalt	0.025	-
8.	22.00	Träpanel	0.120	-

Bild 8 US1.1. Skärningsbild på tilläggsisolerad yttervägg med dimensionerande värden från Vanda 2007. Tilläggsisolering 50mm. U-värde $0,16\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

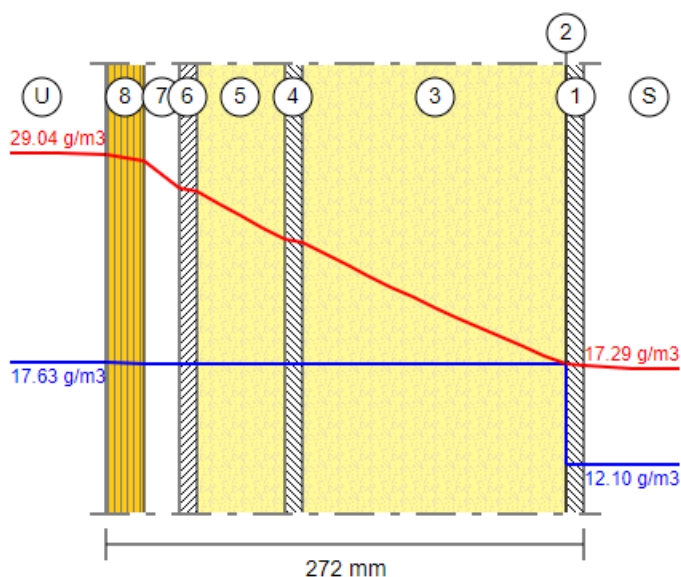
Bild 9 representerar samma väggkonstruktion som ovan med skillnaden att dimensionerande värden är tagna från kallaste månaden av prognosen för året 2050 i Vanda. I detta fall orsakar inte klimatförändringens inverkan på RH och temperaturen några problem för väggkonstruktionen då det kommer till diffusionen av fukt. Mätresultaten för Februari månad är följande; Temperatur ute $-5,7^{\circ}\text{C}$, RH ute 86,4%, Temperatur inne 21°C samt RH inne 38,6%. Värdena kan avläsas från tabellerna 5 och 6.



Kerros:	mm:	Materiaali:	W/mK:	Kylmäsilta:
1.	10.00	Spånskiva	0.140	-
2.	0.25	Ångspärr (Polyeten 0.25 mm)	0.330	-
3.	150.00	Mineralull	0.032	Träregel 48 mm K600 (8.00%)
4.	10.00	Vindskyddsskiva	0.110	-
5.	50.00	Mineralull	0.032	Träregel 48 mm K600 (8.00%)
6.	10.00	Vindskyddsskiva	0.110	-
7.	20.00	Ventilerad luftspalt	0.025	-
8.	22.00	Träpanel	0.120	-

Bild 9 US1.1. Skärningsbild på tilläggsisolerad yttervägg med dimensionerande värden från Vanda 2050. Tilläggsisolering 50mm. U-värde $0,16\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

Bild 10 är ett påhittat scenario som baserar sig delvis på maximivärden från Vanda 2050 materialet. Scenariot simulerar är en varm och fuktig sommardag där ett kylaggregat används för att sänka inomhustemperaturen. I detta fall är utomhustemperaturen 29,2°C och inomhustemperaturen 20°C. Detta orsakar en fukttransport som blir omvänd. I detta fall orsakar den omvända fukttransporten en kondenseringsrisk på ångspärrens kalla sida.

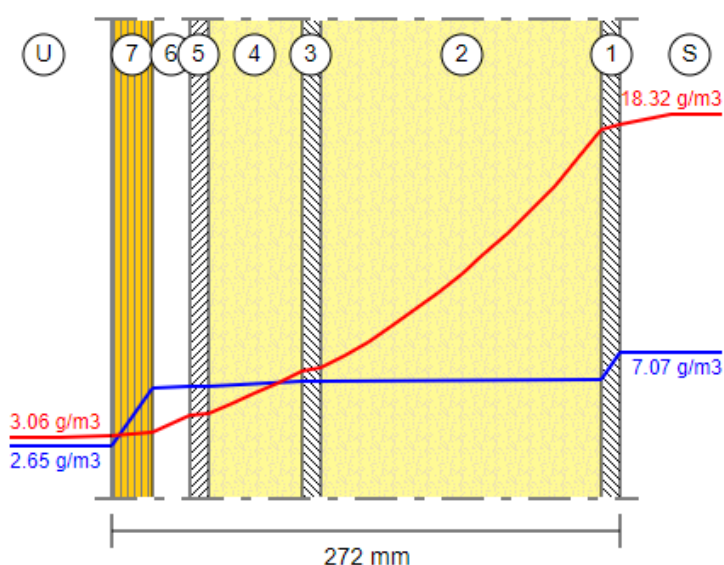


Kerros:	mm:	Materiaali:	W/mK:	Kylmäsilta:
1.	10.00	Spånskiva	0.140	-
2.	0.25	Ångspärr (Polyeten 0.25 mm)	0.330	-
3.	150.00	Mineralull	0.032	Träregel 48 mm K600 (8.00%)
4.	10.00	Vindskyddsskiva	0.110	-
5.	50.00	Mineralull	0.032	Träregel 48 mm K600 (8.00%)
6.	10.00	Vindskyddsskiva	0.110	-
7.	20.00	Ventilerad luftspalt	0.025	-
8.	22.00	Träpanel	0.120	-

Bild 10 US1.1 Skärningsbild på tilläggsisolerad yttervägg med maximitemperatur och RH värden från Vanda 2050. Inomhustemperatur nerkyld till 20°C. U-värde 0,16W/m²K.

Bild 11 representerar en konstruktionslösning som motsvarar i helhet US1.1. men ångspärren är borttagen. Här kan det klart ses att diffusionstäta hinnan inte existerar för att stoppa ångdiffusionen i materialet. Ett sådant här scenario kan tänkas t.ex. på delar av byggnadens ytterväggar där ångspärren blivit otillräcklig, otät eller annars punkteras ordentligt. I detta scenario finns det en risk för kondensering av vattenånga materiallager 4–7. Mätresultaten för Februari månad är följande; Temperatur ute $-5,7^{\circ}\text{C}$, RH ute 86,4%, Temperatur inne 21°C samt RH inne 38,6%. Värdena kan avläsas från tabellerna 5 och 6.

På tilläggsisoleringens (4) varma sida där risken för kondenseringen uppstår har temperaturen i konstruktionen sjunkit till $3,84^{\circ}\text{C}$. Här uppnår ångtrycket ett högre värde än rådande mättnadsångtryck, vilket leder till att RH når 100% och vattenångan kondenseras. Vid vindskyddsskivan (3) är RH ca 91% och redan detta kan anses vara riskfyllt ifall klimatparametrarna skulle ändra.



Kerros:	mm:	Materiaali:	W/mK:	Kylmäsilta:
1.	10.00	Spånskiva	0.140	-
2.	150.00	Mineralull	0.032	Träregel 48 mm K600 (8.00%)
3.	10.00	Vindskyddsskiva	0.110	-
4.	50.00	Mineralull	0.032	Träregel 48 mm K600 (8.00%)
5.	10.00	Vindskyddsskiva	0.110	-
6.	20.00	Ventilerad luftspalt	0.025	-
7.	22.00	Träpanel	0.120	-

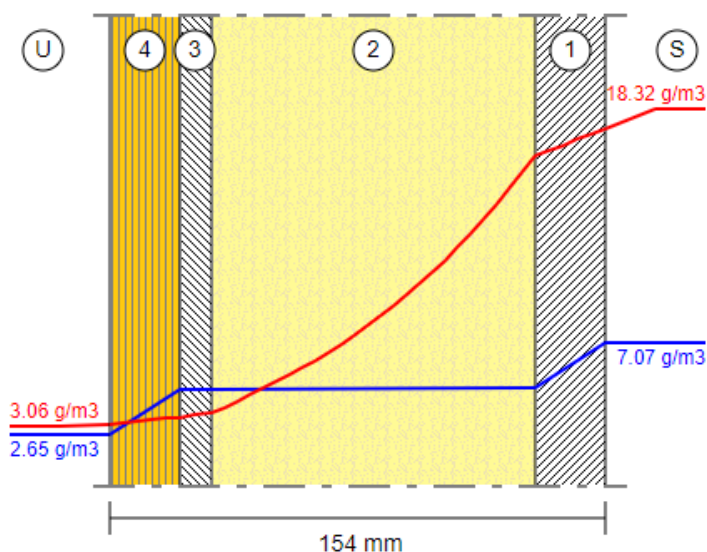
Bild 11 US1.1. Skärningsbild på tilläggsisolerad yttervägg utan ångspärr med dimensionerande värden från Vanda 2050. Tilläggsisolering 50mm. U-värde $0,16\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

5.3 Ytterväggar: US2 – Vanlig väggkonstruktion från 1960-talet

På 1960-talet började användningen av mineralull i både väggar och vindsbjälklag öka inom småhusbyggandet. Detta ledde till att användningen av kutterspån som isoleringsmaterial minskade medan byggsättet ändå var i början ganska likadant. Detta märks t.ex. i obefintlig ventilationsspalt bakom fasadmaterialet och avsaknad ångspärr eller ångbroms på insidan av isoleringen. (Hometalkoot)

Från bilden (12) nedan kan det klart ses att ytterväggs konstruktionslösning inte är fukttekniskt fungerande. Det finns risk för kondensering av vattenångan i materialskikten 2–4. Denna typ av väggkonstruktioner är kända riskkonstruktioner och är känsliga för fuktproblem. (Hometalkoot)

I isoleringen (2) så sjunker temperaturen från innerytan av isoleringen från temperaturen 18,77°C till ytterytan -3,46°C. Inne i materialet nås mättnadsångtrycket och relativa fuktigheten når 100%.

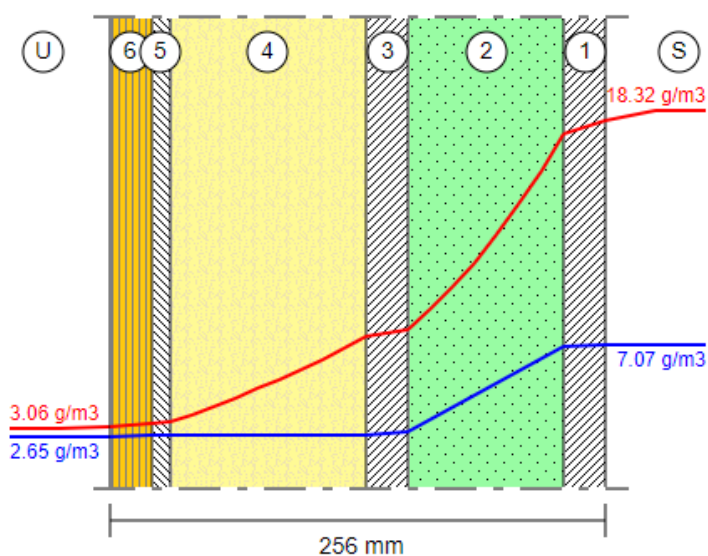


Kerros:	mm:	Materiaali:	W/mK:	Kylmäsilta:
1.	22.00	Träpanel 450 kg/m ³	0.120	-
2.	100.00	Mineralull	0.032	Träregel 48 mm K600 (8.00%)
3.	10.00	Vindskyddsskiva	0.110	-
4.	22.00	Träpanel	0.120	-

Bild 12 US2. Skärningsbild på vanligt använd oventilerad ytterväggskonstruktion från 1960-talet. Konstruktion utan ångspärr. U-värde 0,32 W/m²K. Vanda 2050.

På bild 13 presenteras US2 som tilläggsisolerad från insidan av konstruktionen. Valet att tilläggsisolera från insidan görs p.g.a. att en ångspärr måste oberoende installeras då isolering tilläggs i väggen. Polyuretanskivan som installeras på insidan har en cellstruktur som är diffusionstät, vilket innebär att den samtidigt fungerar som en ångspärr. Enligt bilden nedan så ses att fukt inte kondenseras i väggen.

Befintliga isoleringsskiktet (4) har nu en temperatur på ca $-4,6^{\circ}\text{C}$, vilken är kallare än i originalkonstruktionen. Som jämförelse till US2 ovan så har befintliga isoleringsskiktet nu en relativ fuktighet på ca 83% då diffusionen är blockerad från insidan och kondensering sker inte.



Kerros:	mm:	Materiaali:	W/mK:	Kylmäsilta:
1.	22.00	Träpanel 450 kg/m ³	0.120	-
2.	80.00	FF-PIR PL/80	0.022	Träregel 48 mm K600 (8.00%)
3.	22.00	Träpanel 450 kg/m ³	0.120	-
4.	100.00	Mineralull	0.032	Träregel 48 mm K600 (8.00%)
5.	10.00	Vindskyddsskiva	0.110	-
6.	22.00	Träpanel	0.120	-

Bild 13 US2.1. Skärningsbild på tilläggsisolerad yttervägg. Tilläggsisolering polyuretanskiva 70mm på insidan av konstruktionen. U-värde $0,17\text{W/m}^2\text{K}$. Vanda 2050.

5.4 Vindsbjälklag

På bild 14 nedan presenteras en typisk vindsbjälklagskonstruktion från 1970-talet i Finland. Vindsbjälklaget har bärande takstolar i trä och mineralullsisolering. På takstolarnas undre ramars nedre yta är ångspärren installerad varpå korskålning och byggnadsskiva eller endast byggnadsskiva utan skålning. Ångspärren kan saknas även i konstruktioner byggda på 1970-talet eller vara otät p.g.a. otäta skarvar.

I bilden nedan presenteras skärningsritningen på ifrågavarande konstruktion. Konstruktionsdelen uppfyller inte dagens krav för energiprestanda då U-värdet är 0,18 W/m²K och kravet är 0,09 W/m²K.

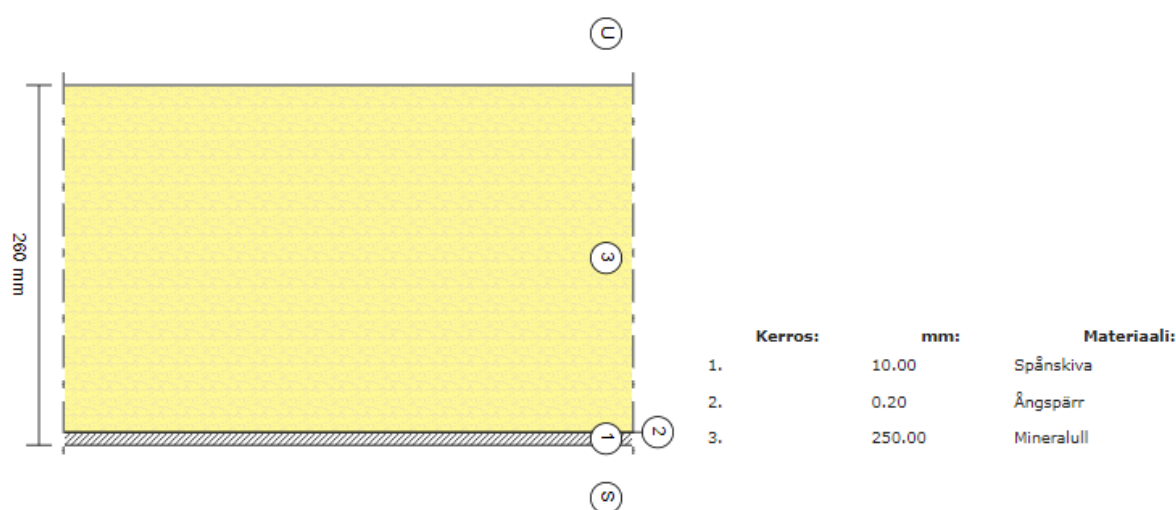


Bild 14 YP1. Skärningsbild på vanligt använd vindsbjälklagskonstruktion från 1970-talet. U-värde 0,18 W/m²K.

På bild 15 presenteras ett förslag på tilläggsisolering till YP1. I detta fall har det tillagts 250mm blåsull på den befintliga mineralullsisoleringen för att uppnå U-värdes kraven som ställs för vindsbjälklaget. Blåsullsisolering är ett gynnsamt alternativ eftersom det är arbetstekniskt snabbt och lätt att utföra. I beräkningarna för bild 15 har klimatparametrarna för test år 2007 använts. I bild 16 har parametrarna för test år 2050 använts.

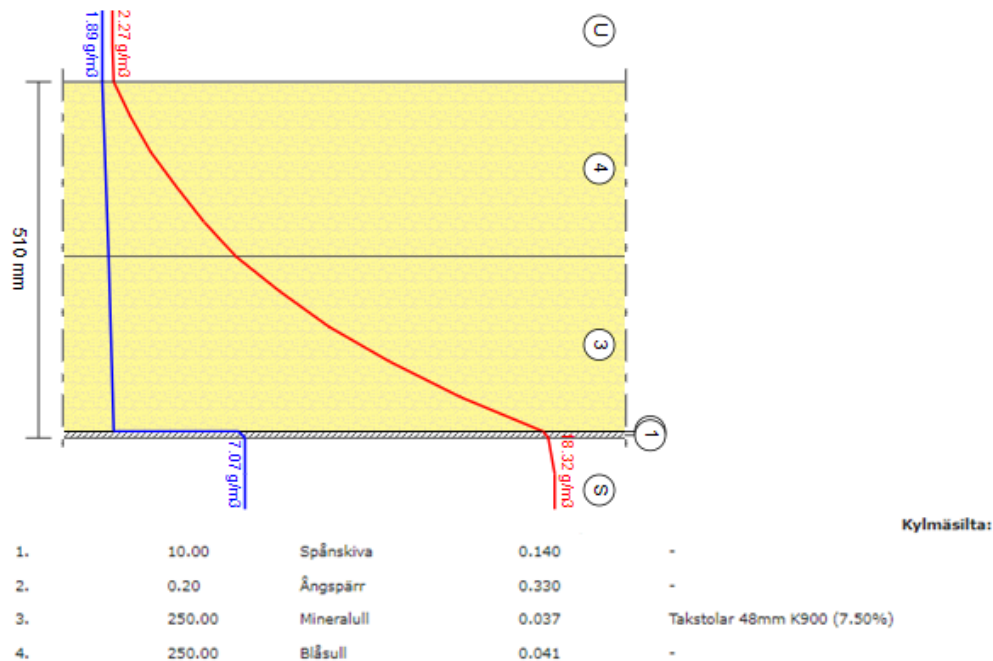


Bild 15 YP1.1. Skärningsbild på tilläggsisolerad vindsbjälklagskonstruktion. U-värde 0.09 W/m²K. Vanda 2007.

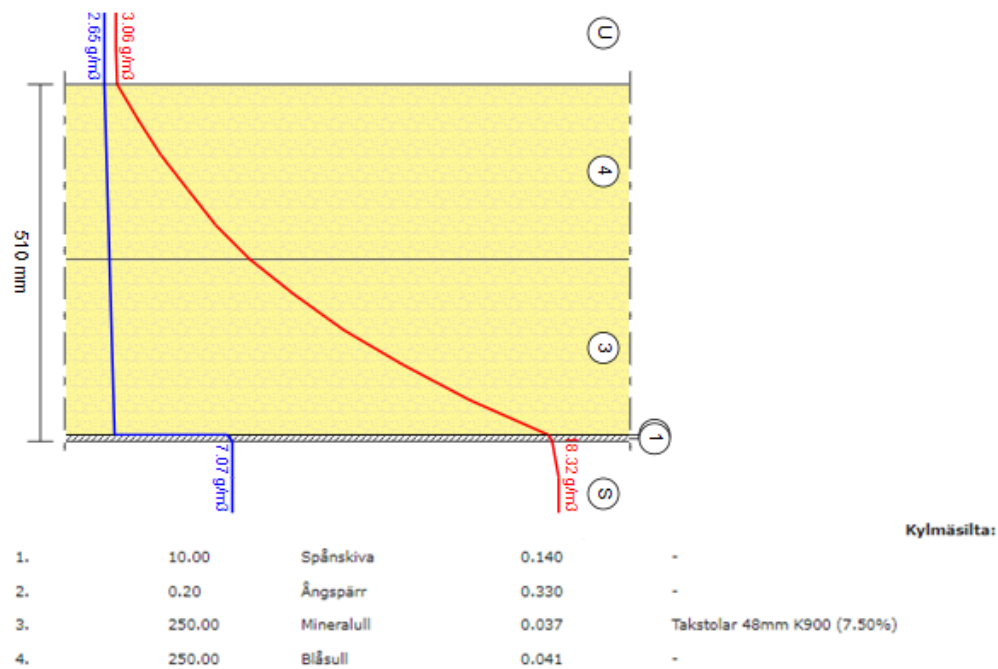


Bild 16 YP1.1. Skärningsbild på tilläggsisolerad vindsbjälklagskonstruktion. U-värde 0.09 W/m²K. Vanda 2050.

5.4.1 Vindsbjälklag kutterspån

På bild 17 illustreras en vindsbjälklagskonstruktion isolerad med kutterspån. Konstruktionen saknar ångspärr. Sådana konstruktionslösningar kan hittas på hus som är byggda före 1960-talet i Finland. Vindsbjälklaget uppfyller inte dagens krav på energiprestandan.

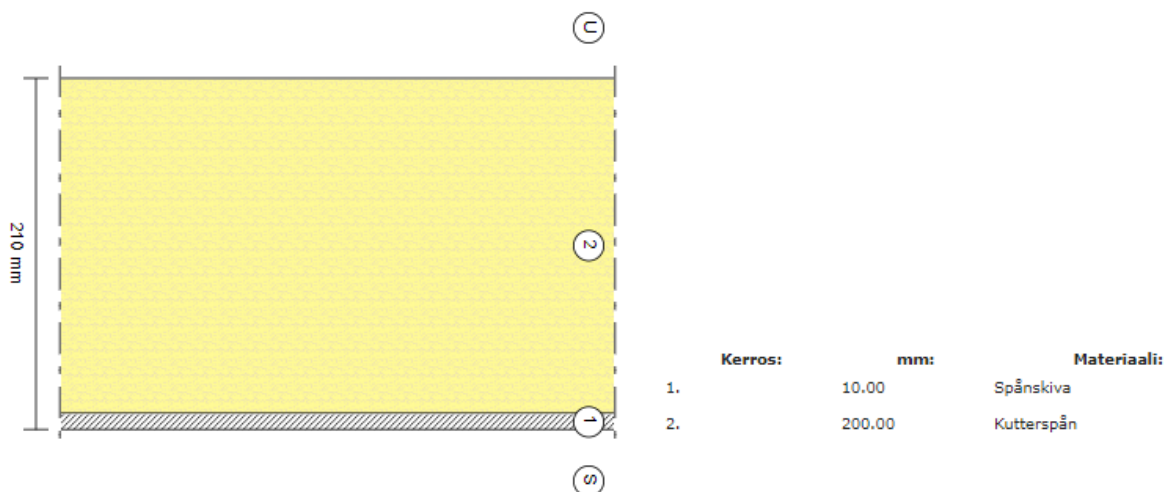


Bild 17 YP2. Skärningsbild på en vindsbjälklagskonstruktion isolerad med kutterspån. Ångspärr saknas från konstruktionen. U-värde 0,25 W/m²K.

Från bilden nedan kan ses att YP2 fungerar fukttekniskt fastän den har avsaknad ångspärr då en tilläggsisolering med mineralull på 350mm görs. Konstruktionen är även fungerande då beräkningar med parametrarna från Vanda 2050 räknas.

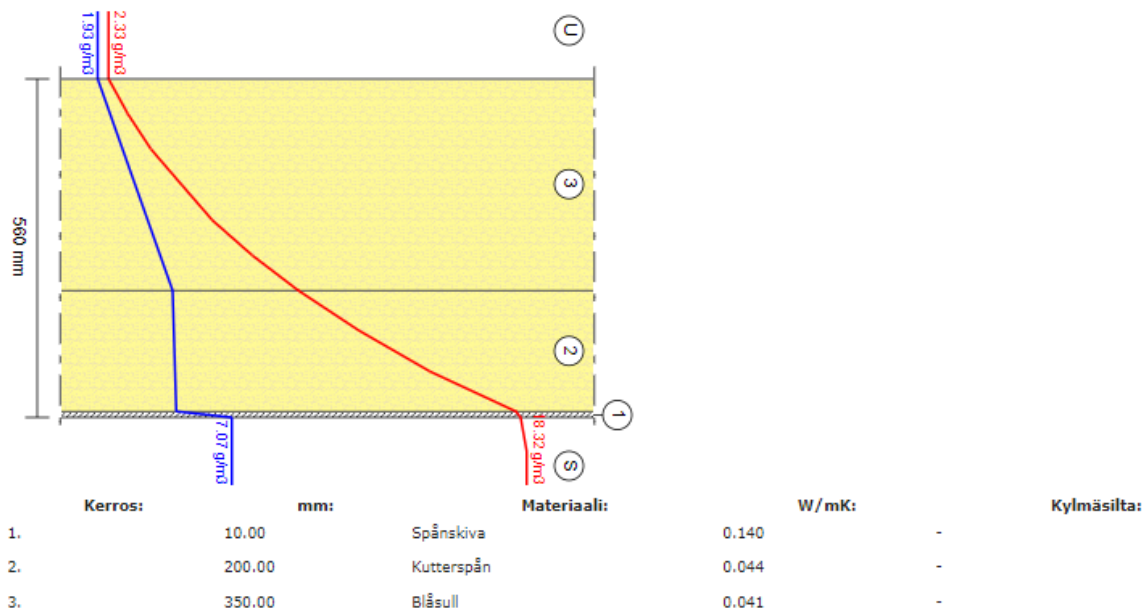


Bild 18 YP2.1. Skärningsbild på tilläggsisolerad vindsbjälklagskonstruktion. Ångspärr saknas från konstruktionen. U-värde: 0,09 W/m²K. Vanda 2007.

6 Energiprestanda

I detta kapitel behandlas exempelkonstruktionernas energiprestanda och enskilda konstruktionsdelar jämförs sinsemellan. Med att jämföra konstruktionslösningarna sinsemellan så får man en bild av hur effektivt ifrågavarande energisåningar är.

6.1 Energiprestanda på ytterväggar

Bild 19 illustrerar 3 olika ytterväggskonstruktioner vars värmeförlust genom 1m^2 av väggyta jämförs. Ytterväggarnas U-värde är följande; US1: $0,24\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, US2: $0,16\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ och US3: $0,13\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

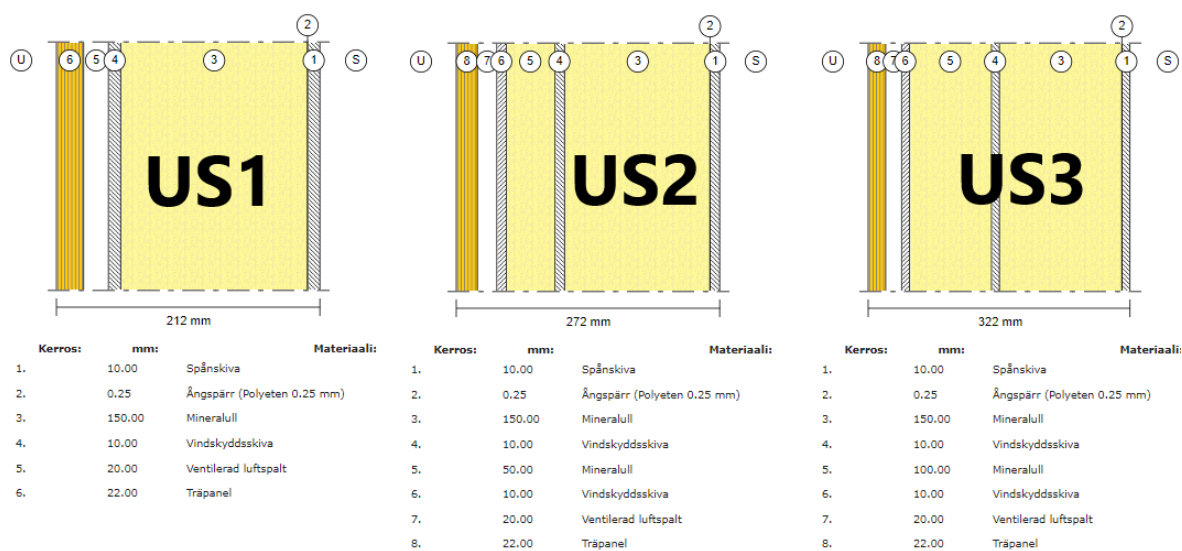
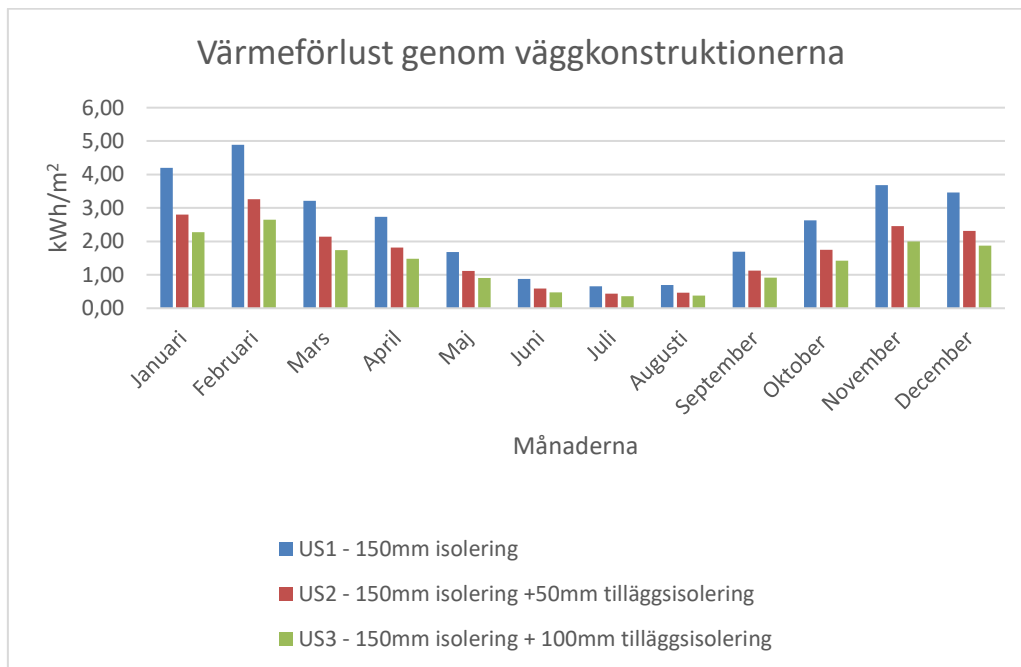


Bild 19 Skärningsritningar på US1 (150mm isolering), US2 (150mm+50mm tilläggsisolering) och US3 (150mm+100mm tilläggsisolering)

I figur 3 presenteras grafiskt värmeförlusten genom ovannämnda ytterväggskonstruktioner. Totala värmeförlusten i dessa beräkningar baserar sig på temperaturdata från Vanda 2007. Värmeförlusten för US1: $30,4\text{kWh}$, US2: $20,3\text{kWh}$ och US3: $16,5\text{kWh}$. Då de två tilläggsisolerade väggkonstruktionerna jämförs med US1 så kan det ses att minskningen av värmeförlusten inte är linjär i relation till isolerings tjockleken. I relation till US1 har US2 en värmeförlustminskning på ca 67% och US3 på ca 54%.

I en byggnad som motsvarar ett radhus på 326m² från 1970-talet så kunde ytterväggarealen tänkas vara ca 110m². Ifall byggnaden hade en väggkonstruktion uppbyggd som US1 så skulle värmeförlusten genom ytterväggarna vara ca 3344kWh, US2 ca 2233kWh och US3 ca 1815kWh.



Figur 3 Värmeförlust genom ytterväggskonstruktioner.

6.2 Energiförändring på vindbjälklag

Nedan ses tre vindbjälklagskonstruktioner varav två är tilläggsisolerade. Tilläggsisoleringen är 250mm blåsull respektive 500mm blåsull. U-värdet på ytterväggarna är följande; YP1: 0,18W/m²K, YP2: 0,09W/m²K och YP3: 0,06W/m²K.

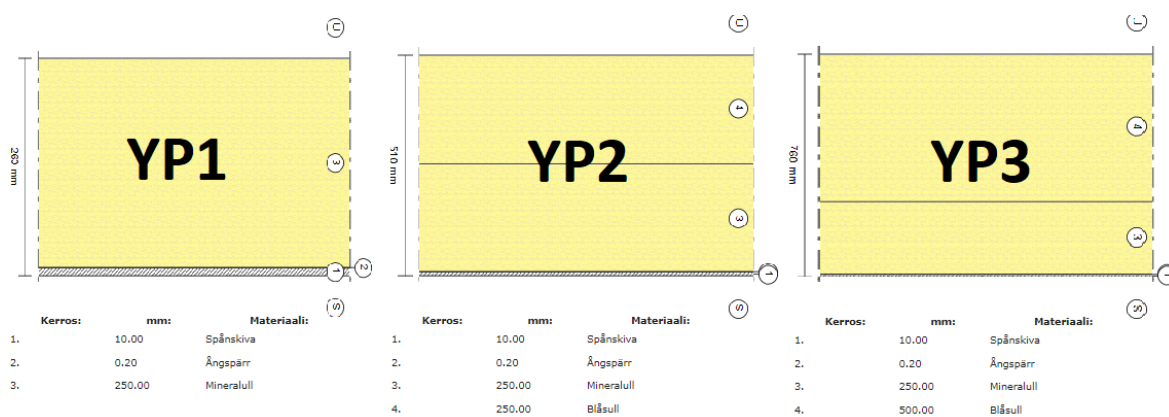
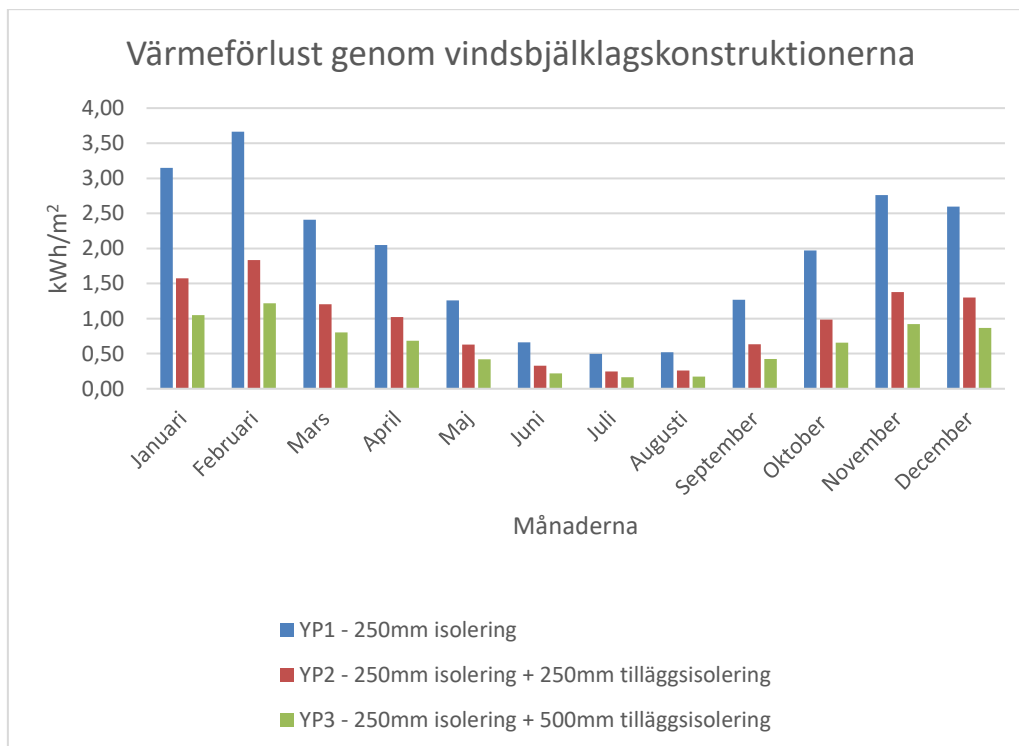


Bild 20 Skärningsritningar på YP1 (250mm isolering), YP2 (250mm+250mm tilläggsisolering) och YP3 (250mm+500mm tilläggsisolering)

Likasom i figur 3 så presenteras i figur 4 värmeförlusten genom ovannämnda vindbjälklagskonstruktioner. Tilläggsisoleringen följer samma mönster som för ytterväggskonstruktionerna.

I samma radhusexempel som nämndes ovan så skulle vindbjälklagets area vara ca 326m². Då skulle YP1 ha en värmeförlust på 7434kWh, YP2 3717kWh och YP3 2478kWh. I relation till YP1 har YP2 en värmeförlustsminskning på ca 50% och YP3 ca 33%.



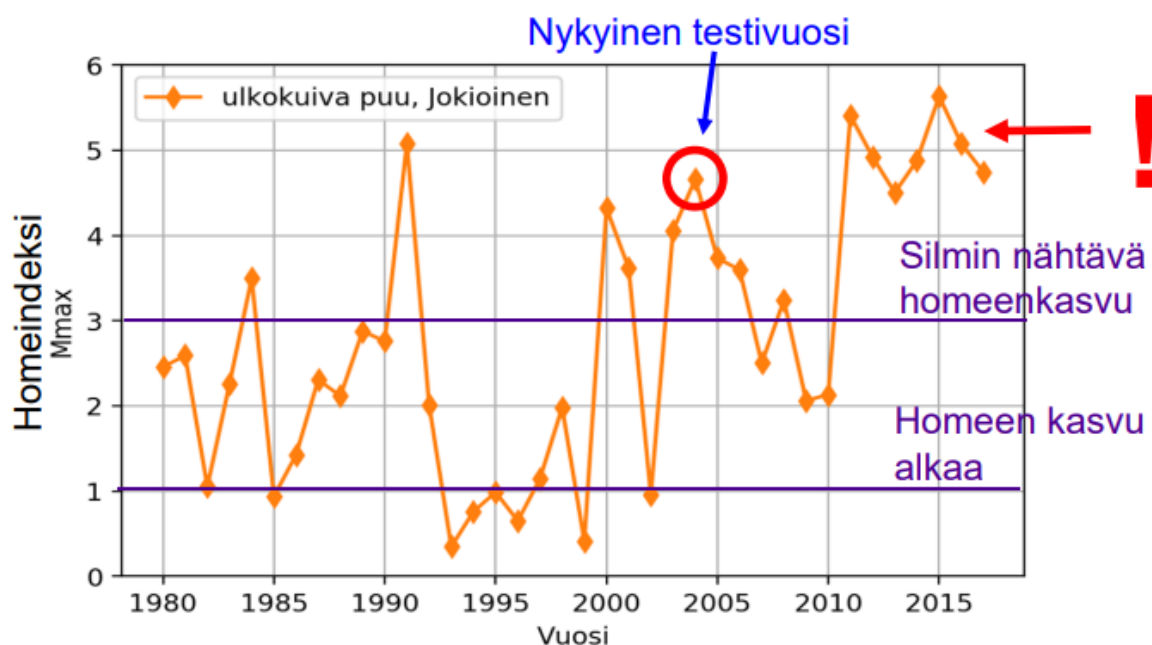
Figur 4 Värmeförlust genom vindbjälklagskonstruktioner.

7 Sekundära riskfaktorer

Diffunderande fukt är inte det enda problemet som kan uppstå i framtiden för tilläggsisolerade konstruktioner. Förändrade klimatförhållanden orsakar också andra externa belastningar på byggnaderna. Dessa belastningar behandlas noggrannare i detta kapitel.

7.1 Mögel

Enligt Juha Vinha (2019) har risken för mögeltillväxt ökat kraftigt under senaste årtionden i utomhusluften. Största drivande faktorn för mögeltillväxten är ökade relativa luftfuktigheten i kombination med ökade utomhustemperaturen. Detta leder till att mögeltillväxten ökar på t.ex. trämaterial som ligger i yttersta lagren av byggnaders konstruktioner. Denna ökning i mögelrisken är presenterad nedan i graf 3. Grafen baserar sig på ett mögelindex som beräknas från data taget från Jokioinen mellan åren 1980–2015. I grafen representerar lodräta axeln mögelindexet som förklaras enligt följande; 1: Mögeltillväxten börjar på ytan, 3: Ytan har synlig mögeltillväxt och 6: Ytan är fullständigt täckt av mögel. Eftersom klimatförändringen påverkar bevisligen relativa luftfuktigheten och temperaturen i södra Finland så kommer detta scenario att stärkas i framtiden.



Graf 1 Mögelindex för Jokioinen åren 1980–2015. (Vinha, 2019)

Vinha (2019) påpekar även att tilläggsisolering försämrar mantelkonstruktionernas fukttekniska funktionalitet då det kommer till mögeltillväxt. Detta orsakas p.g.a. yttersta materialskiktens temperatur sjunker då isolerings tjockleken ökar vilket ger gynnsamma förhållanden för mögeltillväxt. Problematiken kan uppstå både vid tilläggsisolering av insidan och utsidan av befintliga konstruktionen. I ventilerade tilläggsisolerade vindbjälklag sjunker temperaturen och därmed ökar på risken för mögeltillväxt. Ett beaktansvärt alternativ är att tilläggsisolera med ett hygroskopiskt material som mottar fukt men även avger fukt i omgivande luft.

En annan betydlig riskfaktor för mögeltillväxten är ökande regnen och slagregnen som uppstår i framtiden. Dessa regn orsakar högre krav på fasadens egenskaper vars uppgift är att skydda byggnaden för utomhusklimatet. Hårda slagregn kan också orsaka att vatten tränger in sig i otäta delar av fasaden och väter ner konstruktionsdelarna i väggen. (VTT, 2004)

Teknologiska forskningscentralen har i samarbete med Tammerfors tekniska universitet utvecklat ett beräkningsprogram för mögeltillväxten. Med hjälp av programmet kan mögel- och mikrotillväxten evalueras på olika materialtyper.

7.2 Rimfrost

Rimfrost är en fuktmättad luftmassa som kondenserar på en yta och fryser. I en byggnad kan rimfrost bildas vid yttre materialskikten, vanligen mellan isoleringens yttersta delar och vindskyddsskivan. Fukten som fryser är vanligen fukt som transporterats genom diffusion utifrån eller inifrån och materialet nått 100% relativ fuktighet. Frostbildningen kan orsaka fysikaliska problem då ishinnan försämrar fukttransporten genom materialet, speciellt ifall solens värme eller värme som läcker inifrån inte räcker till för att smälta istäcket. I vissa fall kan istäcket fortsätta växa och smälta först på våren då medeltemperaturen stigit. Detta leder till att konstruktionerna, vanligen isoleringsmaterialet väts ner och fuktskador uppstår. (Kairi, 2014)

Enligt Kairi (2014) så kan materialvalen ha en inverkan på bildningen av rimfrost i konstruktionerna. I forskningen som utfördes i Otnäs så kunde slutsatsen dras att en diffusionsöppen skiva, i detta fall en träfiberskiva, fungerade ypperligt som vindskydd då rimfrostbildningen undersöktes. Eftersom skivan är diffusionsöppen och är hygroskopisk till sin natur så möjliggör den att fukten binds i materialet före den hinner frysa.

8 Analys av resultaten

I detta kapitel analyseras resultaten som presenterats i kapitlen 6 och 7.

8.1 Analys av resultaten för ångdiffusionen

Från ytterväggarnas exempelkonstruktioner kan det ses att fukttransporten fungerar på ett sunt sätt då konstruktionerna tilläggsisoleras utifrån och en ångspärr är placerad på varma sidan av den befintliga isoleringen. Detta är även då klimatparametrarna från 2050-talet tas i hänsyn. En tilläggsisolering som installeras på inre lagret kan också vara fukttekniskt fungerande, men kräver omtanke av planeraren då bärande konstruktionernas temperatur sjunker vilket kan leda till fuktproblem.

I vindsbjälklaget följer fukttekniska funktionaliteten samma mönster som för ytterväggarna. Vanligen tilläggsisoleras vindsbjälklaget med blåsull. Ullen har generellt liknande fukttekniska egenskaper som befintliga isoleringen, vilket kan ses vara fukttekniskt fungerande för konstruktionsdelen i helhet. För vindsbjälklagets del bör även ångspärren granskas då diffunderande vattenånga kan orsaka fuktproblematik. Då isolering tilläggs så sjunker temperaturen i vindsutrymmet och även detta kan orsaka fuktproblem. Det är viktigt att försäkra sig om tillräcklig ventilation i vindsutrymmet så inte diffunderade vattenångan kan kondensera på andra kalla konstruktionsdelar på vinden.

Klimatförändringen orsakar att södra Finland har ett varmare klimat på somrarna än tidigare vilket resulterar i att byggnader sannolikt kyls ner i större utsträckning än tidigare. Detta höjer på risken för omvänd fukttransport där utomhusfukten vill diffundera mot insidan av byggnaden. Detta medför en förhöjd risk för kondensering i mantelkonstruktionerna, speciellt vid yttre sidan av ångspärren. Denna kondensering orsakar en märkbar risk för fuktskada i väggen.

Ångspärrens roll är speciellt viktig i konstruktioner med tjockare isoleringsskikt. Både ytterväggs- och vindsbjälklagskonstruktioner från 1960-talet saknar ofta ångspärr. Denna konstruktionslösning fungerar då isoleringsmaterialet haft en hög ånggenomsläpplighet och värmeläckaget genom konstruktionen varit relativt sett hög, vilket underlättar torkning av möjlig fukt. Då nya isoleringsmaterial med lägre ånggenomsläpplighet tilläggs så kan det orsaka problematik i konstruktionen.

8.2 Analys av resultaten för energiprestandan

Ju mera isolering som tilläggs, desto bättre energiprestanda får en konstruktionsdel. Denna förändring i energiprestandan är dock inte linjär, vilket innebär att U-värdet inte sjunker lika mycket för varje tjockleks enhet av isolering som tilläggs. Denna information är väsentlig då en energisnåring planeras och lönsamhetskalkyler utförs.

En tilläggsisolering förbättrar märkbart energiprestandan i en konstruktionsdel, speciellt då byggnadsdelen haft ett högt U-värde från början. Enligt resultaten kan flera tiotals procents förbättring i energiprestandan uppnås med relativt liten tilläggsisolering.

9 Avslutning och diskussion

Detta examensarbete har haft tyngdpunkten på diffusionsberäkningar på tilläggsisolerade konstruktioner. I beräkningarna märktes att förändringarna i relativa luftfuktigheten och temperaturen var så pass små till år 2050, att större förändringar i fuktdiffusionen sker ej då konstruktionerna är planerade på ett fukttekniskt fungerande sätt. Felkonstruerade byggnadsdelar är känsligare än tidigare för problematik i framtiden. Vanliga fel kan vara t.ex. avsaknad ångspärr, perforerad ångspärr eller användning av opassliga byggnadsmaterial. Då utomhustemperaturen ökar så ökar även nerkylningsbehovet av byggnader. Denna temperaturskillnad kan orsaka en omvänd diffusion av fukt vilket kan leda till fuktskador i konstruktionerna.

Klimatförändringen hämtar dock sina utmaningar. Då konstruktioner tilläggsisoleras så sjunker temperaturen i yttersta konstruktionslagret och detta i kombination med högre relativa luftfuktigheten möjliggör gynnsamma förhållanden för mögeltillväxt i konstruktionen. Klimatförändringen förstärker detta även mera i framtiden. Hårda slagregn kan även väta yttersta konstruktionskikten som kan leda till ökad mögeltillväxt. Sänkta temperaturen i yttersta materiallagren ökar också risken för rimfrostbildning i vissa materialtyper i yttersta konstruktionslagren.

Förbättringen i energiprestandan fungerar vanligen som primus motor då en energisänkning planeras. Noggranna lönsamhetskalkyler rekommenderas att utföras då faktumet är att värmegenomgången inte följer en linjär trend med tillagd isolerings tjocklek. Med andra ord så uppnås inte lika stor nytta för varje enhet av isolerings tjocklek som tilläggs.

Resultaten från diverse beräkningar bör tolkas kritiskt. Inom renoveringsbygget kan befintliga materialen orsaka utmaningar då materialens egenskaper kan variera och exakta värden inte känns till. Skillnaderna i materialtillverkarnas angivna värden för t.ex. ångmotståndet varierar, vilket kan inverka betydande på beräkningarna. Dessa värden vet man inte alltid och antaganden måste göras, vilket kan försämra noggrannheten av beräkningarna. Fastän materialparametrarna inte alltid är fullständiga så ger beräkningarna riktgivande resultat som planeraren kan tolka med hjälp av sitt yrkeskunnande.

Det vore intressant att undersöka alternativa, arbetstekniskt lättare metoder för att förbättra energieffektiviteten i befintliga byggnader. Dessa kunde vara t.ex. tätning av luftläckage som orsakar stora värmeförluster i byggnaderna eller användningen av värmeisolerande gardiner. Alternativa åtgärder är också viktiga att överväga, speciellt om byggnaden i fråga är kulturhistoriskt betydelsefull.

10 Källförteckning

Ala-Outinen, T., Harmaajärvi, J., Kivikoski, H., Kouhia, I., Makkonen, L., Saarelainen, S., Tuhola, M., Törnqvist, J. (2004). Ilmastomuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön. VTT. Hämtat 15.10.2022 från: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2004/T2227.pdf>

Bokalders, V. (2011). Isoleringsmaterial från A till W. I: Byggnadsvårdsföreningen. Hämtat 27.9.2022 från <https://byggnadsvard.se/isoleringsmaterial-fran-a-till-w/>

Britannica. (2023). Greenhouse effect. Atmospheric science. Hämtat 24.1.2023 från <https://www.britannica.com/science/greenhouse-effect>

Gregow, H., Rantanen, M., Laurila, K. & Mäkelä, M. (2020). Review on winds, extratropical cyclones and their impacts in northern Europe and Finland. Ilmatieteen laitos. Hämtat från <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/320298/report-review-of-winds-2020-final.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Hagentoft, C-E. (2002). Vandrande fukt Strålände värme. Så fungerar hus. Studentlitteratur AB.

Heat energi. Kutterspån till stallströ och isolering. Hämtat 17.1.2023. <https://heat.se/bestall-har/kutterspan/>

Hometalkoot. 1960-talshus. Hämtat 10.11.2022 från <https://hometalkoot.fi/omakotitalo>

Humala, H. (2014). Insinööritoimisto SRT Oy:n käyttämien ulkoseinä- ja yläpohjarakenteiden lämpö- ja kosteustekninen käyttäytyminen. Rakentamisen koulutusohjelma. Tekniikan ja liikenteen koulutusohjelma. Savonia-ammattikorkeakoulu. Hämtad från: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74068/Humala_Henri.pdf?se-

Hunton. Hunton Nativo träfiberisolering skivor. Hämtat 17.1.2023. <https://hunton.se/produkter/vagg/hunton-nativo-trafiberisolering-skivor/>

Ilmatieteenlaitos. Ilmastomuutos. Hämtat 26.9.2022 från
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutoskysymyksia>

Ilmatieteenlaitos. Rakennusfysiikan testivuoden tulevaisuuden ilmastossa. (2013). Hämtat från
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/rakennusfysiikan-testivuodet-tulevaisuuden-ilmastossa>

Kairi, M. (2014). Eristepaksuuden lisäämisen vaikutus puurakenteisiin pohjoismaisessa ilmastossa. Rakennustieto. Hämtat 26.9.2022 från:
<https://tiedostot.rakennustieto.fi/rakentajain-kalenteri/RK140305.pdf>

Kapillaari. (2021). Kyllästysvesihöyrypitoisuuden taulukot. Hämtat 7.11.2022 från
<https://kapillaari.fi/kyllastysvesihoyrypitoisuuden-taulukot/>

Kapillaari. (2021). Suhteellinen kosteus. Hämtat 24.1.2023 från [Suhteellinen kosteus – Kapillaari.fi](#)

Kotonen, N. (2018). Lisälämmöneristyksen vaikutus tuuletustilalliseen yläpohjaan. Rakennus- ja yhdyskuntateknikka. Hämeen ammattikorkeakoulu. Hämtat 11.11.2022 från
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/140950/Lisalammoneristyksen%20vaikutus%20tuuletustilalliseen%20ylapohjaan%20Niklas%20Kotonen.pdf;jsessionid=9D86708D3BA007905CB6516B8CA1E8EE?sequence=1>

Klimatguiden. Förväntad klimatförändring i Finland. Hämtat 30.9.2022 från [Förväntad klimatförändring i Finland | Climate guide \(klimatguiden.fi\)](#)

Miljöministeriets förordning om förbättring av byggnaders energiprestanda vid reparations- och ändringsarbeten 4/13. (2013). Hämtat från <https://ym.fi>

Miljöministeriets förordning om nya byggnaders energiprestanda 1010/2017. (2017). Hämtat från <https://www.finlex.fi/sv/laki/alkup/2017/20171010>

Miljöministeriet. (2018). Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja. Hämtat 8.11.2022 från
https://www.ymparisto.fi/download/Energiatodistusopas_2018_Vanhojen_rakennusten_tyypillisia_suunnitteluarvojapdf/%7BA6558C5F-9B2E-40E5-B261-605118163F03%7D/141252

Nieminen, J., Kouhia, I., Ojanen, T. & Knuuti, A. (2013). Kosteusteknisesti toimivia korjausrakentamisen periaateratkaisuja. VTT. Hämtat 10.12.2022 från <https://cris.vtt.fi/en/publications/kosteusteknisesti-toimivia-korjausrakentamisen-periaateratkaisuja>

Nieminen, J., Virta, J. (2016). Rakennusten lisälämmöneristäminen. Kiinteistöalan Kustannus Oy ja ympäristöministeriö. Hämtat 14.11.2022 från https://www.ymparisto.fi/download/RakennustenLisalammoneristaminen_ekirjapdf/%7B68690719-645C-4FF5-ABD3-3B05EF1D9DD7%7D/117577

Plastindustrien. EPS-isolering holder på varmen, har høj trykstyrke og afviser fugt. Hämtat 17.1.2023. <https://plast.dk/eps-isolering-holder-paa-varmen-har-hoej-trykstyrke-afviser-fugt/>

Raksystems. Mineraalivilla. Hämtat 17.1.2023. <https://rakersystems.fi/sanasto/mineraalivilla/>

RIL 107-2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohje. (2012). Helsingfors. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

SFS-EN ISO 6946:2017: Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation methods. Helsingfors 2017. Suomen Standardoimisliitto SFS.

Vinha, J. (2019). Ilmastonmuutosvaikutukset rakentamisen suunnitteluun ja rakentamiseen. Tampereen teknillinen yliopisto. Hämtat 11.11.2022 från: https://www.rt.fi/globalassets/koulutus--ja-esitysaineistot/2019/2019-02-08_ilmastonmuutos-rakentamisessa_lounais-suomen-rakennuspaiva.pdf

Vinha, J., Laukkarinen, A., Mäkitalo, M., Nurmi, S., Huttunen, P., Pakkanen, T., Kero, P., Manelius, E., Lahdensivu, J., Köliö, A., Lähdesmäki, K., Piironen, J., Kuhno, V., Pirinen, M., Aaltonen, A., Suonketo, J., Jokisalo, J., Teriö, O., Koskenvesa, A., Palolahti, T. (2013). Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristykseen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Hämtat 13.11.2022 från: [vinha_ilmastonmuutoksen_ja_lammoneristykseen_lisayksen_vaikutukset.pdf \(tuni.fi\)](https://www.tuni.fi/ilmastonmuutoksen-ja-lammoneristykseen-lisayksen-vaikutukset.pdf)

Virta, J., Pylsy, P. (2011). Taloyhtiön energiakirja. Kiinteistöalan kustannus Oy. Hämtat 13.11.2022 från: https://issuu.com/mediat/docs/taloyhtion_energiakirja

Bilagor

Referensvärden på värmegenomgångskoefficienter. (Miljöministeriets förordning, 2017)

Vid beräkning av referensvärdet för värmeförlusten genom klimatskalet i ett varmt eller ett kylt kallt utrymme ska följande referensvärden användas som värmegenomgångskoefficienter för byggnadsdelarna:

a) vägg	0,17 W/(m ² K),
b) vägg av massivt trä, med en genomsnittlig tjocklek på minst 180 mm	0,40 W/(m ² K),
c) vindsbjälklag och bottenbjälklag som gränsar mot det fria	0,09 W/(m ² K),
d) bottenbjälklag som gränsar mot kryprum	0,17 W/(m ² K),
e) byggnadsdel mot mark	0,16 W/(m ² K),
f) fönster, takfönster, dörr, takljuskupol, röklucka och utgångslucka	1,0 W/(m ² K).

Vid beräkning av referensvärdet för värmeförlusten genom klimatskalet i en flyttbar byggnad eller i ett delvis uppvärmt utrymme ska följande referensvärden användas som värmegenomgångskoefficienter för byggnadsdelarna:

a) vägg	0,26 W/(m ² K),
b) vägg av massivt trä, med en genomsnittlig tjocklek på minst 180 mm	0,60 W/(m ² K),
c) vindsbjälklag och bottenbjälklag som gränsar mot det fria	0,14 W/(m ² K),
d) bottenbjälklag som gränsar mot kryprum	0,26 W/(m ² K),
e) byggnadsdel mot mark	0,24 W/(m ² K),
f) fönster, takfönster, dörr, takljuskupol, röklucka och utgångslucka	1,4 W/(m ² K).

Vid beräkning av referensvärdet för värmeförlusten genom klimatskalet i ett småhus som projekteras för fritidsboende, avsett att användas minst fyra månader om året, ska följande referensvärden användas som värmegenomgångskoefficienter för byggnadsdelarna:

a) vägg	0,24 W/(m ² K),
b) vägg av massivt trä, med en genomsnittlig tjocklek på minst 130 mm	0,80 W/(m ² K),
c) vindsbjälklag och bottenbjälklag som gränsar mot det fria	0,15 W/(m ² K),
d) bottenbjälklag som gränsar mot kryprum	0,19 W/(m ² K),
e) byggnadsdel mot mark	0,24 W/(m ² K),
f) fönster, takfönster, dörr, takljuskupol, röklucka och utgångslucka	1,4 W/(m ² K).

Referensvärdet för byggnadens totala fönsterarea är 15 procent av byggnadens totala våningsplansarea helt eller delvis ovanför mark, dock högst 50 procent av byggnadens fasadarea. Fönsterarean ska beräknas enligt fönsterkarmens yttermått.

Beräkningarna ska göras enligt byggnadens projekterade storlek och geometri. Areorna för klimatskalets olika delar ska fastställas enligt byggnadens totala innermått.

Vid beräkning av värmeförlusten genom klimatskalet för en projekterad byggnadslösning ska de projekterade byggnadsdelsspecifika värmegenomgångskoefficienterna och fönsterareorna användas.

Tabell för mätnadsänghalten i luften (g/m³). (Kapillaari, 2021)

Kyllästysvesihöyrypitoisuus (g/m³) nestemäisen veden suhteen

Lämpötilan kokonaisluku luetaan vasemmasta reunasta ja desimaalit yläreunasta

Esimerkkejä: vsat(+5,5 C) = 7,02 g/m³; vsat(-5,5 C) = 3,29 g/m³

T, C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
40	50,98	51,24	51,49	51,75	52,01	52,27	52,54	52,80	53,06	53,33
39	48,47	48,72	48,96	49,21	49,46	49,71	49,96	50,22	50,47	50,72
38	46,07	46,31	46,54	46,78	47,02	47,26	47,50	47,74	47,98	48,23
37	43,77	44,00	44,22	44,45	44,68	44,91	45,14	45,37	45,60	45,84
36	41,57	41,79	42,00	42,22	42,44	42,66	42,88	43,10	43,32	43,55
35	39,47	39,67	39,88	40,09	40,30	40,51	40,72	40,93	41,14	41,36
34	37,46	37,65	37,85	38,05	38,25	38,45	38,65	38,86	39,06	39,26
33	35,53	35,72	35,91	36,10	36,29	36,48	36,68	36,87	37,06	37,26
32	33,69	33,87	34,06	34,24	34,42	34,60	34,79	34,97	35,16	35,34
31	31,94	32,11	32,28	32,46	32,63	32,81	32,98	33,16	33,34	33,52
30	30,26	30,43	30,59	30,76	30,92	31,09	31,26	31,43	31,60	31,77
29	28,66	28,82	28,98	29,13	29,29	29,45	29,61	29,77	29,94	30,10
28	27,13	27,28	27,43	27,58	27,74	27,89	28,04	28,20	28,35	28,51
27	25,68	25,82	25,96	26,11	26,25	26,40	26,54	26,69	26,84	26,99
26	24,29	24,43	24,56	24,70	24,84	24,98	25,11	25,25	25,39	25,54
25	22,97	23,10	23,23	23,36	23,49	23,62	23,75	23,89	24,02	24,15
24	21,71	21,83	21,95	22,08	22,20	22,33	22,45	22,58	22,71	22,84
23	20,51	20,62	20,74	20,86	20,98	21,10	21,22	21,34	21,46	21,58
22	19,36	19,47	19,59	19,70	19,81	19,93	20,04	20,16	20,27	20,39
21	18,28	18,38	18,49	18,60	18,70	18,81	18,92	19,03	19,14	19,25
20	17,24	17,34	17,44	17,55	17,65	17,75	17,86	17,96	18,06	18,17
19	16,26	16,35	16,45	16,55	16,65	16,74	16,84	16,94	17,04	17,14
18	15,32	15,42	15,51	15,60	15,69	15,79	15,88	15,97	16,07	16,16
17	14,44	14,52	14,61	14,70	14,79	14,88	14,96	15,05	15,14	15,23
16	13,60	13,68	13,76	13,84	13,93	14,01	14,10	14,18	14,27	14,35
15	12,80	12,87	12,95	13,03	13,11	13,19	13,27	13,35	13,43	13,51
14	12,04	12,11	12,19	12,26	12,34	12,41	12,49	12,56	12,64	12,72
13	11,32	11,39	11,46	11,53	11,60	11,67	11,75	11,82	11,89	11,96
12	10,64	10,70	10,77	10,84	10,91	10,97	11,04	11,11	11,18	11,25
11	9,99	10,06	10,12	10,18	10,25	10,31	10,38	10,44	10,51	10,57
10	9,38	9,44	9,50	9,56	9,62	9,68	9,74	9,81	9,87	9,93
9	8,80	8,86	8,92	8,97	9,03	9,09	9,15	9,21	9,26	9,32
8	8,26	8,31	8,36	8,42	8,47	8,53	8,58	8,64	8,69	8,75
7	7,74	7,79	7,84	7,89	7,94	8,00	8,05	8,10	8,15	8,20
6	7,25	7,30	7,35	7,40	7,44	7,49	7,54	7,59	7,64	7,69
5	6,79	6,84	6,88	6,93	6,97	7,02	7,06	7,11	7,16	7,20
4	6,36	6,40	6,44	6,48	6,53	6,57	6,61	6,66	6,70	6,75
3	5,94	5,98	6,03	6,07	6,11	6,15	6,19	6,23	6,27	6,31
2	5,56	5,60	5,63	5,67	5,71	5,75	5,79	5,83	5,87	5,91
1	5,19	5,23	5,26	5,30	5,34	5,37	5,41	5,45	5,48	5,52
0	4,85	4,88	4,92	4,95	4,98	5,02	5,05	5,09	5,12	5,16
0	4,85	4,82	4,78	4,75	4,72	4,68	4,65	4,62	4,59	4,56
-1	4,52	4,49	4,46	4,43	4,40	4,37	4,34	4,31	4,28	4,25
-2	4,22	4,19	4,16	4,13	4,10	4,07	4,05	4,02	3,99	3,96
-3	3,93	3,91	3,88	3,85	3,82	3,80	3,77	3,74	3,72	3,69
-4	3,66	3,64	3,61	3,59	3,56	3,54	3,51	3,49	3,46	3,44
-5	3,41	3,39	3,36	3,34	3,31	3,29	3,27	3,24	3,22	3,20
-6	3,17	3,15	3,13	3,11	3,08	3,06	3,04	3,02	2,99	2,97
-7	2,95	2,93	2,91	2,89	2,87	2,85	2,82	2,80	2,78	2,76
-8	2,74	2,72	2,70	2,68	2,66	2,64	2,62	2,60	2,58	2,57
-9	2,55	2,53	2,51	2,49	2,47	2,45	2,44	2,42	2,40	2,38
-10	2,36	2,35	2,33	2,31	2,29	2,28	2,26	2,24	2,23	2,21

-11	2,19	2,18	2,16	2,14	2,13	2,11	2,09	2,08	2,06	2,05
-12	2,03	2,02	2,00	1,99	1,97	1,96	1,94	1,93	1,91	1,90
-13	1,88	1,87	1,85	1,84	1,82	1,81	1,80	1,78	1,77	1,75
-14	1,74	1,73	1,71	1,70	1,69	1,67	1,66	1,65	1,64	1,62
-15	1,61	1,60	1,59	1,57	1,56	1,55	1,54	1,52	1,51	1,50
-16	1,49	1,48	1,47	1,45	1,44	1,43	1,42	1,41	1,40	1,39
-17	1,37	1,36	1,35	1,34	1,33	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28
-18	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20	1,19	1,18
-19	1,17	1,16	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,11	1,10	1,09
-20	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,03	1,02	1,01	1,00
-21	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92
-22	0,91	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,85
-23	0,84	0,83	0,83	0,82	0,81	0,81	0,80	0,79	0,78	0,78
-24	0,77	0,77	0,76	0,75	0,75	0,74	0,73	0,73	0,72	0,71
-25	0,71	0,70	0,70	0,69	0,68	0,68	0,67	0,67	0,66	0,66
-26	0,65	0,64	0,64	0,63	0,63	0,62	0,62	0,61	0,61	0,60
-27	0,60	0,59	0,59	0,58	0,57	0,57	0,56	0,56	0,55	0,55
-28	0,55	0,54	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50
-29	0,50	0,49	0,49	0,49	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,46
-30	0,46	0,45	0,45	0,44	0,44	0,44	0,43	0,43	0,42	0,42
-31	0,42	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,39	0,39	0,39	0,38
-32	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35
-33	0,35	0,34	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32
-34	0,32	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29
-35	0,29	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26
-36	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24
-37	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22
-38	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20
-39	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18
-40	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16

Lähteet:

World meteorological organization WMO. Guide to Instruments and Methods of Observation. Volume I - Measurement of Meteorological Variables. 2018 edition. WMO-No. 8. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=12407
 Hagentoft, C-E (2001) Introduction to Building Physics. Studentlitteratur, Sweden.

Tämä taulukko (versio 2021-02-13) on ladattavissa osoitteesta:

<https://kapillaari.fi/>

© kapillaari.fi

Tabell för mättnadsånghalten i relation till relativa luftfuktigheten (g/m³). (Kapillaari, 2021)

Kyllästysvesihöyrypitoisuus (g/m³) nestemäisen veden suhteen
 Lämpötila luetaan vasemmasta reunasta ja suhteellinen kosteus yläreunasta
 Esimerkki: v = 80 % * vsat(+5 C) = 5,43 g/m³

T, C	RH, %										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
40	50,98	45,88	40,78	35,69	30,59	25,49	20,39	15,29	10,20	5,10	0,00
39	48,47	43,62	38,78	33,93	29,08	24,24	19,39	14,54	9,69	4,85	0,00
38	46,07	41,46	36,86	32,25	27,64	23,04	18,43	13,82	9,21	4,61	0,00
37	43,77	39,40	35,02	30,64	26,26	21,89	17,51	13,13	8,75	4,38	0,00
36	41,57	37,42	33,26	29,10	24,94	20,79	16,63	12,47	8,31	4,16	0,00
35	39,47	35,52	31,57	27,63	23,68	19,73	15,79	11,84	7,89	3,95	0,00
34	37,46	33,71	29,96	26,22	22,47	18,73	14,98	11,24	7,49	3,75	0,00
33	35,53	31,98	28,43	24,87	21,32	17,77	14,21	10,66	7,11	3,55	0,00
32	33,69	30,32	26,96	23,59	20,22	16,85	13,48	10,11	6,74	3,37	0,00
31	31,94	28,74	25,55	22,36	19,16	15,97	12,78	9,58	6,39	3,19	0,00
30	30,26	27,24	24,21	21,18	18,16	15,13	12,10	9,08	6,05	3,03	0,00
29	28,66	25,80	22,93	20,06	17,20	14,33	11,46	8,60	5,73	2,87	0,00
28	27,13	24,42	21,71	18,99	16,28	13,57	10,85	8,14	5,43	2,71	0,00
27	25,68	23,11	20,54	17,97	15,41	12,84	10,27	7,70	5,14	2,57	0,00
26	24,29	21,86	19,43	17,00	14,57	12,14	9,72	7,29	4,86	2,43	0,00
25	22,97	20,67	18,37	16,08	13,78	11,48	9,19	6,89	4,59	2,30	0,00
24	21,71	19,54	17,36	15,19	13,02	10,85	8,68	6,51	4,34	2,17	0,00
23	20,51	18,45	16,40	14,35	12,30	10,25	8,20	6,15	4,10	2,05	0,00
22	19,36	17,43	15,49	13,55	11,62	9,68	7,75	5,81	3,87	1,94	0,00
21	18,28	16,45	14,62	12,79	10,97	9,14	7,31	5,48	3,66	1,83	0,00
20	17,24	15,52	13,79	12,07	10,34	8,62	6,90	5,17	3,45	1,72	0,00
19	16,26	14,63	13,01	11,38	9,76	8,13	6,50	4,88	3,25	1,63	0,00
18	15,32	13,79	12,26	10,73	9,19	7,66	6,13	4,60	3,06	1,53	0,00
17	14,44	12,99	11,55	10,11	8,66	7,22	5,78	4,33	2,89	1,44	0,00
16	13,60	12,24	10,88	9,52	8,16	6,80	5,44	4,08	2,72	1,36	0,00
15	12,80	11,52	10,24	8,96	7,68	6,40	5,12	3,84	2,56	1,28	0,00
14	12,04	10,83	9,63	8,43	7,22	6,02	4,82	3,61	2,41	1,20	0,00
13	11,32	10,19	9,06	7,92	6,79	5,66	4,53	3,40	2,26	1,13	0,00
12	10,64	9,57	8,51	7,45	6,38	5,32	4,26	3,19	2,13	1,06	0,00
11	9,99	8,99	7,99	7,00	6,00	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00	0,00
10	9,38	8,44	7,51	6,57	5,63	4,69	3,75	2,81	1,88	0,94	0,00
9	8,80	7,92	7,04	6,16	5,28	4,40	3,52	2,64	1,76	0,88	0,00
8	8,26	7,43	6,61	5,78	4,95	4,13	3,30	2,48	1,65	0,83	0,00
7	7,74	6,97	6,19	5,42	4,64	3,87	3,10	2,32	1,55	0,77	0,00
6	7,25	6,53	5,80	5,08	4,35	3,63	2,90	2,18	1,45	0,73	0,00
5	6,79	6,11	5,43	4,75	4,07	3,40	2,72	2,04	1,36	0,68	0,00
4	6,36	5,72	5,08	4,45	3,81	3,18	2,54	1,91	1,27	0,64	0,00
3	5,94	5,35	4,76	4,16	3,57	2,97	2,38	1,78	1,19	0,59	0,00
2	5,56	5,00	4,45	3,89	3,33	2,78	2,22	1,67	1,11	0,56	0,00
1	5,19	4,67	4,15	3,63	3,12	2,60	2,08	1,56	1,04	0,52	0,00
0	4,85	4,36	3,88	3,39	2,91	2,42	1,94	1,45	0,97	0,48	0,00
-1	4,52	4,07	3,62	3,17	2,71	2,26	1,81	1,36	0,90	0,45	0,00
-2	4,22	3,80	3,38	2,95	2,53	2,11	1,69	1,27	0,84	0,42	0,00
-3	3,93	3,54	3,15	2,75	2,36	1,97	1,57	1,18	0,79	0,39	0,00
-4	3,66	3,30	2,93	2,57	2,20	1,83	1,47	1,10	0,73	0,37	0,00
-5	3,41	3,07	2,73	2,39	2,05	1,71	1,36	1,02	0,68	0,34	0,00
-6	3,17	2,86	2,54	2,22	1,90	1,59	1,27	0,95	0,63	0,32	0,00
-7	2,95	2,66	2,36	2,07	1,77	1,48	1,18	0,89	0,59	0,30	0,00
-8	2,74	2,47	2,19	1,92	1,65	1,37	1,10	0,82	0,55	0,27	0,00
-9	2,55	2,29	2,04	1,78	1,53	1,27	1,02	0,76	0,51	0,25	0,00
-10	2,36	2,13	1,89	1,65	1,42	1,18	0,95	0,71	0,47	0,24	0,00

-11	2,19	1,97	1,75	1,53	1,32	1,10	0,88	0,66	0,44	0,22	0,00
-12	2,03	1,83	1,63	1,42	1,22	1,02	0,81	0,61	0,41	0,20	0,00
-13	1,88	1,69	1,51	1,32	1,13	0,94	0,75	0,56	0,38	0,19	0,00
-14	1,74	1,57	1,39	1,22	1,04	0,87	0,70	0,52	0,35	0,17	0,00
-15	1,61	1,45	1,29	1,13	0,97	0,81	0,64	0,48	0,32	0,16	0,00
-16	1,49	1,34	1,19	1,04	0,89	0,74	0,60	0,45	0,30	0,15	0,00
-17	1,37	1,24	1,10	0,96	0,82	0,69	0,55	0,41	0,27	0,14	0,00
-18	1,27	1,14	1,01	0,89	0,76	0,63	0,51	0,38	0,25	0,13	0,00
-19	1,17	1,05	0,94	0,82	0,70	0,59	0,47	0,35	0,23	0,12	0,00
-20	1,08	0,97	0,86	0,75	0,65	0,54	0,43	0,32	0,22	0,11	0,00
-21	0,99	0,89	0,79	0,69	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	0,00
-22	0,91	0,82	0,73	0,64	0,55	0,46	0,37	0,27	0,18	0,09	0,00
-23	0,84	0,76	0,67	0,59	0,50	0,42	0,34	0,25	0,17	0,08	0,00
-24	0,77	0,69	0,62	0,54	0,46	0,39	0,31	0,23	0,15	0,08	0,00
-25	0,71	0,64	0,57	0,50	0,42	0,35	0,28	0,21	0,14	0,07	0,00
-26	0,65	0,58	0,52	0,45	0,39	0,32	0,26	0,19	0,13	0,06	0,00
-27	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06	0,00
-28	0,55	0,49	0,44	0,38	0,33	0,27	0,22	0,16	0,11	0,05	0,00
-29	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	0,00
-30	0,46	0,41	0,36	0,32	0,27	0,23	0,18	0,14	0,09	0,05	0,00
-31	0,42	0,37	0,33	0,29	0,25	0,21	0,17	0,12	0,08	0,04	0,00
-32	0,38	0,34	0,30	0,27	0,23	0,19	0,15	0,11	0,08	0,04	0,00
-33	0,35	0,31	0,28	0,24	0,21	0,17	0,14	0,10	0,07	0,03	0,00
-34	0,32	0,28	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13	0,09	0,06	0,03	0,00
-35	0,29	0,26	0,23	0,20	0,17	0,14	0,11	0,09	0,06	0,03	0,00
-36	0,26	0,24	0,21	0,18	0,16	0,13	0,10	0,08	0,05	0,03	0,00
-37	0,24	0,21	0,19	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05	0,02	0,00
-38	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,06	0,04	0,02	0,00
-39	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00
-40	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,00

Lähde:

World meteorological organization WMO. Guide to Instruments and Methods of Observation. Volume I - Measurement of Meteorological Variables. 2018 edition. WMO-No. 8. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=12407

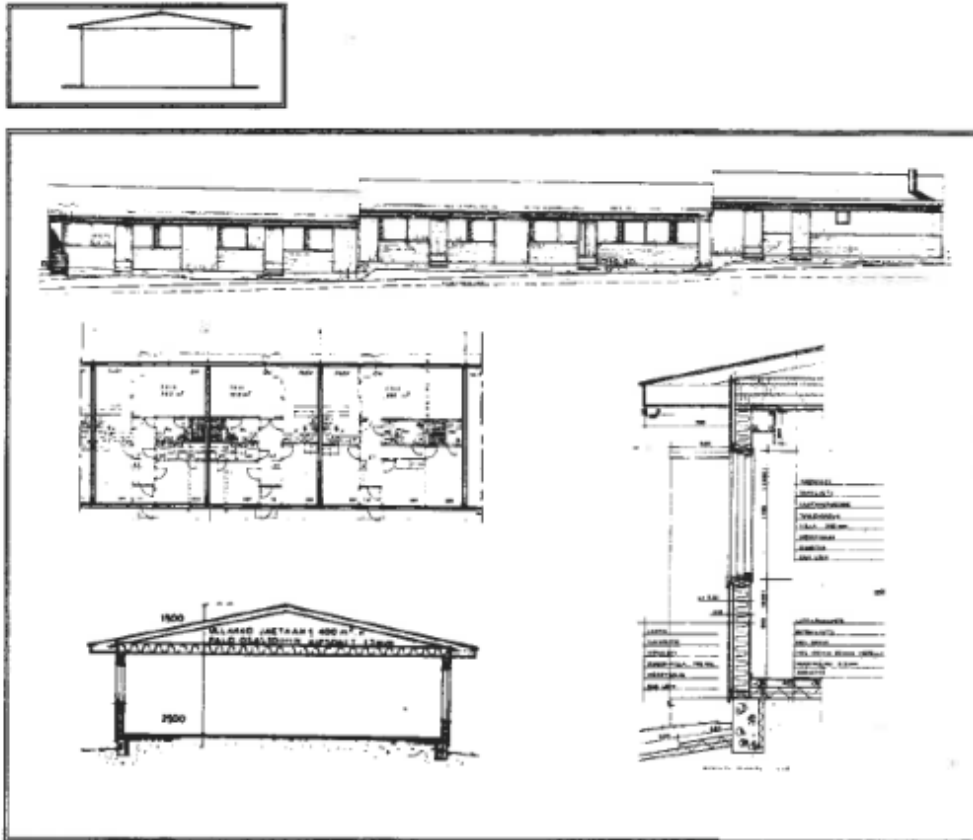
Tämä taulukko (versio 2021-02-13) on ladattavissa osoitteesta:

<https://kapillaari.fi/>

© kapillaari.fi

Vanligen använda konstruktionslösningar med U-värden. (Miljöministeriet, 2018)

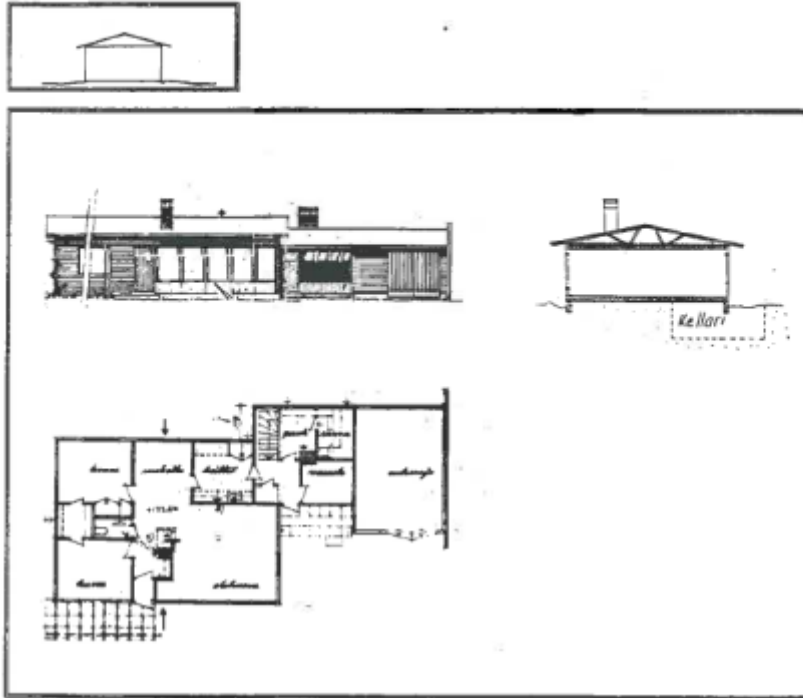
4.2.2. Rivitalo, 1 krs, puurunkoinen, 1971–1980



Rakennettu:	1977
Rak.pinta-ala:	475 M ²
Tilavuus:	1280 m ³
Kerrosala:	475 m ²
Huoneistoala:	326 m ²
Perustus:	Teräsbetoniantura
Ulkoseinä:	Lauta, ilmarako, kovalevy, runko+villa 150 mm, höyrysulku, rakennuslevy $U = 0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$
Välipohja:	
Yläpohja:	Huopakate, sahalauta, kantava rakenne, tuulensuoja, min.villa 250 mm, rimoitus, rakennuslevy $U = 0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$
Alapohja:	Lattiapäällyste, betonilaatta, muovieristyslevy 50 mm, muovieristyslevy 100 mm seinän vierellä, muovikelmu 0,2 mm, sorastus <i>reuna-alueilla $U = 0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$, keskellä $U = 0.32 \text{ W/m}^2\text{K}$</i>
Väliseinät:	Lastulevy 10 mm, kipsonit 13 mm, runko+villa 70 mm, ilmarako, runko+villa 70 mm, kipsonit 13 mm, lastulevy 10 mm (kantava)
Katemateriaali:	2-kert. huopakate
Huoneisto:	3 x 3h+k+s, 1 x 4h+k+s, (k. 81,5m ²)

Vanligen använda konstruktionslösningar med U-värden. (Miljöministeriet, 2018)

4.1.6. Omakotitalo, 1 krs + kellari, puurunkoinen, 1961–1970



Rakennettu:	1961
Rak.pinta-ala:	138 M ²
Tilavuus:	385 m ³
Kerrosala:	150 m ²
Huoneistoala:	80 m ²
Perustus:	Teräsbetoniset
Ulkoseinä:	Lautaverhous, tuulensuoja, runkorak., lämmöneriste 100 mm min. villa, sisäverhous $U = 0.32 \text{ W/m}^2\text{K}$
Välipohja:	
Yläpohja:	2-kert. huopakate, puinen kattoristikko, 200 mm min.villa, sisäverhous $U = 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$
Alapohja:	Soran päällä teräsbet. laatta 100 mm, lämmönerist. levy 100 mm, lautapäällyste reuna-alueilla $U = 0.21 \text{ W/m}^2\text{K}$, keskellä $U = 0.29 \text{ W/m}^2\text{K}$
Väliseinät:	
Katemateriaali:	2-kert. huopa
Huoneisto:	3h+k+s