

Innehållsförteckning:

Inledning	2
Teori.....	4
Energiförluster i byggnader.....	5
Tidskonstant för byggnader	8
Metod	9
Resultat.....	22
Diskussion	29
Slutsats.....	32
Tackord	34
Referenser	35

Inledning

Industrin står för cirka 40 % av den totala energianvändningen i Sverige, vilket år 2000 motsvarade 156 TWh. Trots att industrin har haft en kraftig produktionsökning sedan 1970-talet har inte energianvändningen ökat utan den har sjunkit med 40 %. Det har skett genom olika energieffektiviseringsåtgärder och produktionsförändringar. [2]

Av EU:s totala energianvändning kommer 80 % av energin från fossila bränslen [3]. Det innebär att den största mängden energi kommer från olja, kol och naturgas. Användningen av fossila bränslen ger stora bidrag till utsläpp av växthusgaser. Sverige använder betydligt mindre fossilenergi än genomsnittet i EU. 2008 antog Sverige och EU ett förslag på att minska den totala energianvändning med 20 % fram till 2020 jämfört med 2008 års nivåer. Sverige har startat ett program kallat PFE (Program för energieffektivisering) för att uppnå sina mål gällande energibesparing.

Programmet PFE vänder sig till företag i tillverkningsindustrin som använder mycket energi. Programmet grundar sig i att det infördes en skatt på 0,5 kr/kWh på elpriset. Företag ges då en möjlighet att få en skattereduktion av kostnad. Målet med programmet blir att få ner energianvändningen hos industrier som tillsammans förbrukar cirka 30 TWh/år el. Cirka 100 företag och 250 anläggningar har varit med i programmets första period. Företagen har tillsammans redovisat en minskning av elförbrukningen på 1,45 TWh/år. Utöver minskning av elanvändning har företagen gjort ett stort arbete med att minska övrig energianvändning. Många företag har exempelvis gjort bränsle- och värmeeffektiviseringar och ökat andelen förnybar energi.

Företagen jobbar i fem årsperioder med programmet som startade första gången 2004 och en andra period inleddes 2009. De företag som var med i första skedet av programmet gavs en möjlighet att även vara med i den andra perioden för att ytterligare få ner sin energianvändning. Företagen arbetar med programmet genom att göra en energikartläggning över sin anläggning och sina processer. Efter energikartläggningen är gjord upprättas en handlingsplan över olika åtgärder som kan få ner energianvändningen vid anläggningen/fabriken. [4]

Stora Enso Timber AB producerar pellets vid sina pelletsanläggningar i Grums och Kopparfors. Stora Enso producerar cirka 260000 ton pellets/år och produktionen i Grums producerar cirka 100000 ton/år. 100000 ton pellets räcker för att värma nästan 17000 villor ett helt år [5]. Pellets tillverkas av spån från de egna sågverken. Spånet består av sågspån, torrflis, kutterspån och kommer direkt i från

Stora Ensos integrerade sågverk. Pelletsen innehåller inga bindemedel eller tillsatser, utan tillverkas helt av naturliga ämnen från skogen. Produktionen sker med modern tillverkningsteknik. Tillverkningsprocessen för pellets sker genom att spån först torkas på löpande band för att senare hettas upp med hjälp utav ånga. Det görs för att ligninet i trädet ska smälta och användas som ett naturligt bindemedel. Efter att spånet hettats upp pressas spånet till små stavar. Stavarna kyls sedan ner till rumstemperatur för att senare paketeras eller säljas på lösvikt. [6]

Syftet med rapporten är att göra en kartläggning över energiförluster åt Stora Enso Timber. Det för att de ska få ett underlag till sitt arbete med PFE och där i genom kunna lista ett antal förbättringsåtgärder för fabriken framtida energibesparingsarbete.

En energikartläggning görs för att avgöra vilka förluster som är de mest betydande för den totala energiförlusten. Genom det kan besparingsåtgärder föreslås. Vid en minskning av den totala energiförlusten minskar även Stora Enso Timbers utsläpp av växthusgaser.

Målet med rapporten är att:

- Göra en grundläggande energiberäkning över energiförlusterna inuti det givna klimatskalet.
- Ta fram storleksmått av de olika energiförlusterna(kWh). Det för att lättare kunna jämföra olika förlusters påverkan av den totala energiförlusten.
- Ge förslag till olika förbättringsåtgärder för att minska energiförlusterna.

Vissa avgränsningar har gjorts av arbetet:

- Ser endast till klimatskalet och vad som finns inuti byggnaden.
- Det tas ingen hänsyn till maskiner eller andra transportmedel som transporteras in och ut ur byggnaden.
- Vissa energitransporter med liten påverkan är uppskattade.

Teori

Vid en energikartläggning finns krav gällande ingående delar som fabriken skall uppfylla, exempelvis:

- Ventilation

Ventilationens huvuduppgift enligt Boverket: "Byggnaders ventilationssystem skall utformas så att erforderlig mängd uteluft tillförs byggnaden och så att föroreningar från verksamheter liksom luftburna utsöndringsprodukter från personer och byggnadsmaterial samt fukt, elak lukt och hälsofarliga ämnen bortförs. Ventilationseffektiviteten skall vara god." [7]

För CO₂ i lokaler finns inga gränsvärden i byggreglerna [8].

- U-värden, riktvärden

Sämsta tillåtna värden för lokaler, U-värde medel för klimatskal får inte överstiga 0,7 W/m²C [9].

- Energianvändning

För klimatzon norr, som Värmlands län tillhör, gäller kravet för lokaler 110 kWh/m² per år. Vid beräkning av energianvändning bör värdet ligga cirka 20 % lägre än gällande krav för byggnaden. Genom det säkerställs att byggnaden ligger under kraven vid andra förutsättningar än vid själva beräkningen.

Kraven gäller inte för byggnader som används en kortare period av året eller att processen i byggnaden står för det största energitillskottet till byggnadens uppvärmning. [9]

Energiförluster i byggnader

Den totala energiförlusten i en byggnad består av transmission (Q_t), ventilation (Q_v) och luftläckage (Q_l).

Transmissionsförluster, ordet transmission betyder "överföring" och genom byggnadsdelar är det värme som överförs. Under den största delen av året är det varmare inne i lokalen än det är ute. Det är drivkraften för värmen att försvinna ut ur byggnaden. Värmen går från varmare till kallare för att jämna ut temperaturdifferensen. Som mått på transmissionen används begreppet värmegenomgångskoefficient (U-värde). U-värdet definieras som energiflödet per areaenhet och grad [$W/m^2\text{°C}$]. Förr kallades U-värdet för k-värde men efter 1989 används det noggrannare begreppet U-värde. U-värdets storlek beror dels på materialskiktets tjocklek och materialets värmeledningsförmåga. Av de två fås materialskiktets värmemotstånd. För noggranna beräkningar av U-värdet tas hänsyn till regler, luftspalter, omgivande jord, risken för fukt och blåst med mera. Det kallas för klimatskalets köldbryggor. [10]

Köldbryggor uppstår när porösa material som isolering bryts av mot mindre porösa material som till exempel regler. Porösa material innehåller stora mängder stillastående luft. Det gör att de materialen får goda värmeisolerande egenskaper. Materialen bryts ofta av med material som har sämre isoleringsförmåga, till exempel träreglar eller betongplatta. När materialen bryter av isolerande material, bildas "bryggor" där värmen lättare kan "läcka" ut ur byggnaden. I klimaskalet benäms ytorna som köldbryggor. [10]

Ventilation har till uppgift att föra bort föroreningar och smuts från den "gamla" luften och tillföra ny frisk luft från utsidan av byggnaden. Det finns tre olika system för utföra uppgiften. [11]

1. Självdragssystem bygger på att öppningar i byggnaden sköter ventilation "automatisk". Det sker genom olika tryckskillnader på in och utsida av byggnaden. Tryckskillnader beror av höjden, temperaturen och vindhastigheter. Luftflödena hos systemet är svåra att kontrollera, flöden varierar över året. Det kan leda till termisk diskomfort i inneklimatet som exempelvis drag. En annan nackdel är att det går åt mycket energi för att värma kallluft utan att värmeväxla den mot utgående luft.
2. I ett frånluftssystem suger en fläkt ut inneluften och skapar genom det ett undertryck inuti byggnaden. Tryckskillnaden gör att ny luft suges in genom de öppningar som finns i klimaskalet. Fördelen är ett jämt luft flöde över

årets alla årstider jämfört med självdragsystem. Däremot kvarstår problemet att inte värmeväxla luften och använda sig av den energimängd som den utgående luften innehåller. Energin som går åt vid driften i ett frånluftssystem är den för att driva fläkten som skapar undertrycket i byggnaden.

3. FTX-system bygger på att suga in frånluften i en ventilationskanal och värmeväxla frånluften mot inneluften som då värms eller eventuellt kyls om frånluftsluften är kallare än inneluften. Den sista temperaturökning/minskning



som kan krävas för att luften ska få önskad temperatur sker oftast genom ett värme-/kylbatteri. Energin som går åt i ett ftx-system är den för att driva fläktarna och den energin som går åt i värme-/kylbatteriet. Se figur 1 för att se exempel på hur ett ftx-aggregat ser ut.

Figur 1 Luftaggregat av Ftx typ [11].

Luftläckaget benämns som den ofrivilliga ventilationen. Luftflödet till följd av ofrivillig ventilation går inte att styra över. Luftläckaget varierar med trycket inne och utanför byggnaden. Det som påverkar trycket är temperaturen, höjden och vinden. Luftläckaget går från de högre trycket till de lägre för att jämna ut tryckdifferensen. Det gör att de kan läcka ut på en höjd i byggnaden och läcka in på en annan höjd i byggnaden. Luftläckaget kan ske i alla byggnadsdelar och förhindras oftast i väggar genom att placeras en plastfolie inuti väggen. Läckaget sker även genom springor och andra öppningar i klimatskalet. Öppnas en dörr, fönster eller port sker ett luftombyte omedelbart. [11]

Olika material har olika lufttätthet. Mineralull är inte lufttätt och ska därför kompletteras med ett lufttätt skikt. Gjutna väggar eller putsade murverk av tegel eller lättbetong är lufttäta och behöver av den anledningen inte kompletteras med ett lufttätt skikt. [11]

Sammansättning av olika byggnadsdelar leder också till ett ökat luftläckage. Därför är det extra viktigt att vara noggran med montage av fönster och dörrar. Det är viktigt att det är ordentligt tätat mellan karmen på fönstret och väggregeln som fönstret är fastsatt i.

Den ofrivilliga ventilationen kallad luftläckage, den är viktigt att minska eller minimera. Det då den posten i energibalansen är svår att beräkna och kan ha en betydande påverkan på en fastighets totala energianvändning. [10]

Värmetransporten genom fönster sker på olika sätt, den kan ske både in och ut. Värmen transporteras genom ledning, långvågig strålning och konvektion. Det sker både i och kring fönstret. Fönster är uppbyggda av ett glas som är omgivet av båg- och karmdel. God värmeisolering hos ett fönster är inte bara bra ur energihushållnings syfte utan även ur ett fukttekniskt perspektiv. Kalla ytor som uppstår av dåligt isolerade fönster eller omkringliggande köldbryggor medför ökad fuktighet och kan skapa kondens som leder till fuktproblem, missfärgningar och röta.

För att förbättra fönsters värmeisoleringsförmåga har olika åtgärder gjorts av fönsterutformningen. Antalet rutor har ökats från att förr vara två till att nu vara tre eller fyra. Genom att förseglar glasrutorna och skapa ett mellanrum mellan rutorna skapas lågenergifönster. För att öka isolerförmågan ytterligare har luften bytts ut mellan rutorna till tunga ädelgaser som krypton och argon. Genom den åtgärden är det främst konvektionen som minskar värmetransporten. Ett annat sätt för att minska energitransporten genom fönsterrutan är att förse glaset med ett lågemissionsskikt (LE-skikt), det skiktet gör att den långvågiga värmestrålningen hindras att stråla ut ur byggnaden och istället reflexteras in i byggnaden igen. Genom att göra den åtgärden uppnås samma U-värde hos ett 2-glasfönster som ett normalt 3-glasfönster.

Vid beräkning av fönstrets totala värmegenomgång tas hänsyn inte bara till transporten av värme, utan även till värmetransporten genom karmen. Karmen består oftast av trä eller metall med inslag av isolerande material som exempelvis cellplast. Nya lågenergifönster kan ha U-värden under $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ett argonfyllt 3-glasfönster ligger på cirka $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ i U-värde och ett kryptonfyllt ligger på cirka $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ i U-värde. Äldre 2-glas fönster kan ha U-värden runt $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. [11]

Tidskonstant för byggnader

Tidskonstanten är ett mått på hur väl en byggnad kan klara av temperatursvängningar i utetemperaturen. Kort tidskonstant betyder att byggnaden påverkas snabbt av temperatursvängningar och en lång tidskonstant betyder att byggnaden klarar av temperatursvängningar bättre innan inneklimatet påverkas av den temperatur som råder utomhus. Tunga material med stor värmelagringskapacitet ökar tidskonstanten. Luftläckage, ventilation och transmission påverkar storleken av tidskonstanten. För mer ingående beskrivning av tidskonstanten och faktorer som påverkar beräkningen, se avsnitt tidskonstanten i metoden.

Metod

Fabrikens totala energiförlust är beräknad med ekvation (1).

$$Q_{\text{tot,förlust}} = Q_t + Q_v + Q_l \quad (1)$$

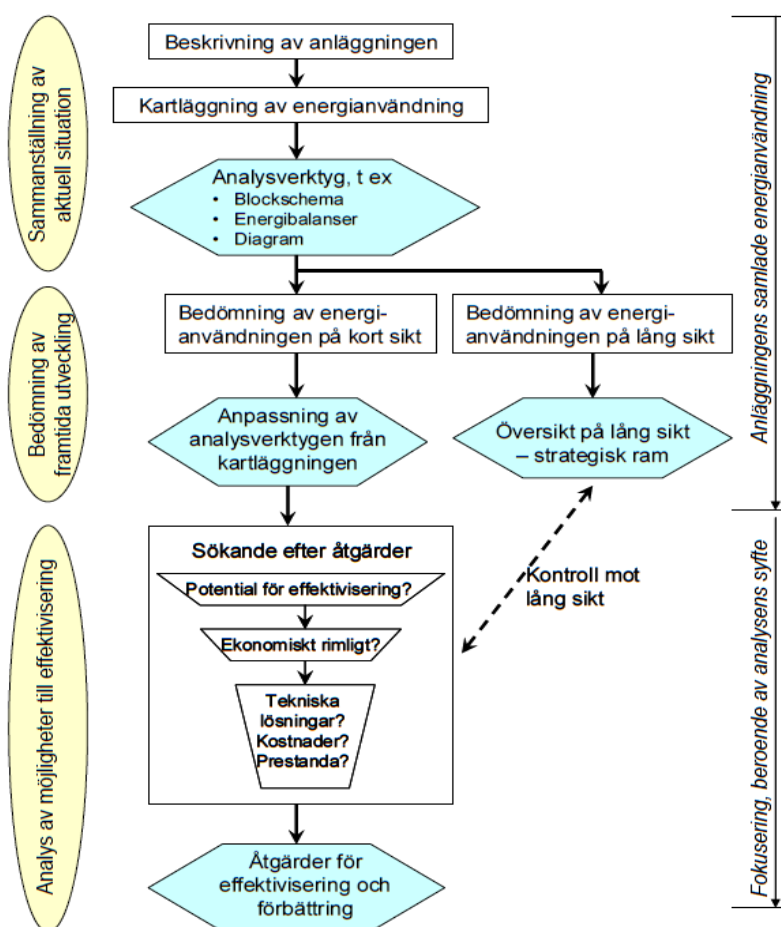
Beskrivning av ekvation (1) ingående delar:

Q_t = Den energimängd som försvinner bort från klimatskalet på grund av transmission genom byggnadens olika delar. Det sker genom: väggar, tak, golv, fönster, dörrar och portar med mera.

Q_v = En byggnad behöver ventilation för att ta bort smuts och partiklar i luften plus för att tillföra syre inomhus. Det för att människor som vistas i lokalen ska uppleva ett behagligt inneklimat. Q_v blir den energimängd som går åt för att värma luften till önskad innetemperatur.

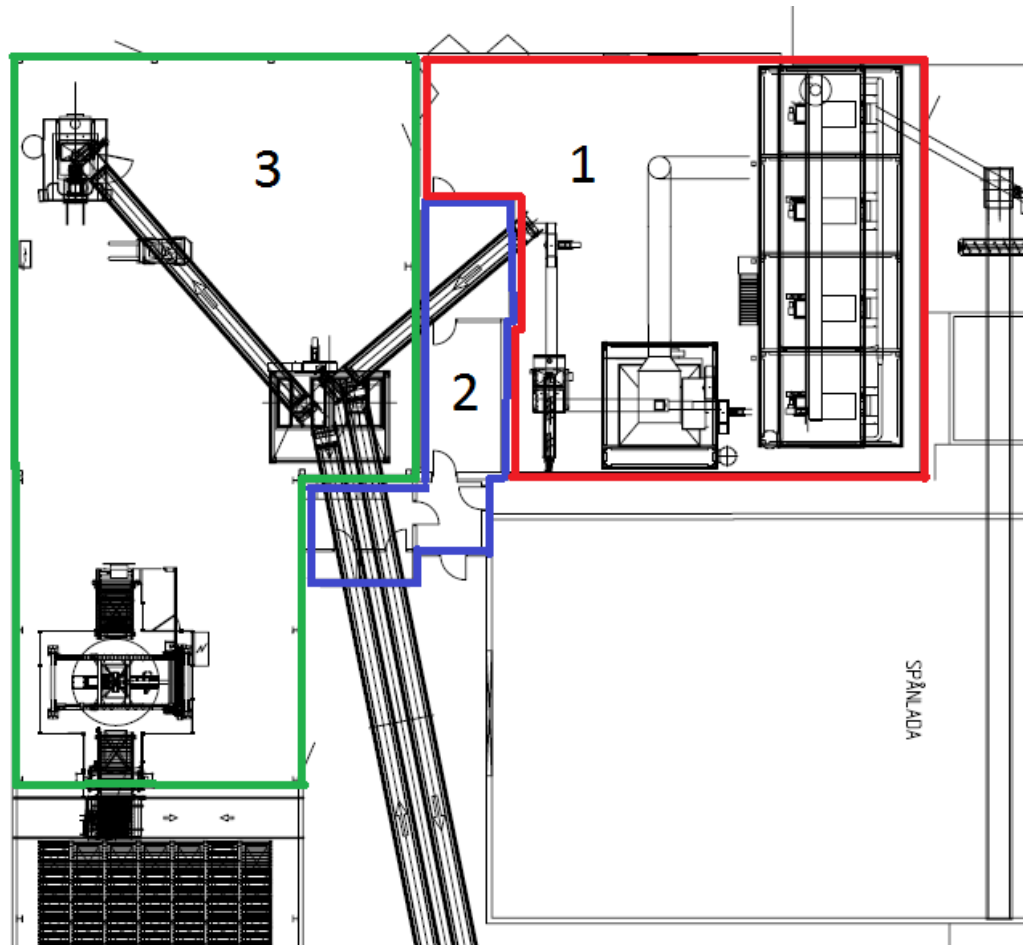
Q_l = Den oavsiktliga ventilationen i byggnaden. En viss mängd luft försvinner ut ur byggnaden, hur tätt än klimatskalet är och luftmängden behöver ersättas med uteluft som värmas för att uppnå önskad innetemperatur. [12]

Tanken med metoddelen var att arbeta efter mallen i figur 2 som Energimyndigheten har satt upp för en energikartläggning [13]. Arbets ordningen enligt figur 2 går ut på att först beskriva och kartlägga energianvändningen för att senare bedöma och föreslå förbättringsåtgärder. I rapporten gjordes beräkningarna på kort sikt och utan tankar gällande ekonomisk rimlighet. Tyngdpunkten i arbetet lades på potential för effektivisering och sedan att arbeta sig fram till olika förbättringsåtgärder för att minska energianvändningen.



Figur 2 Schema för genomförande av energikartläggning [13].

Uppdelning och enklare beskrivning av klimatskal



Figur 3 Pellets fabriken zonuupdelning.

Pelletsfabriken har delats upp i tre zoner för att arbetet ska bli tydligare att genomföra. En kortare beskrivning av de olika zonerna, värden och beskrivningar av vad som påverkar beräkningarna finns i metoddelen.

Det röda området benäms som zon 1 och innehåller pelletspressar, pelletkylare och en pelletsskakare. Golvet består av betong och väggarna består i huvudsak av lättbetongblock som är staplade på varandra. En mindre vägg i kontakt med en äldre byggnad är uppbyggd av tegel. En senare ombyggnad har gjorts av zon 1 där taket höjts cirka 2,5 m vid området över pelletspressarna. Väggarna är uppbyggda med hjälp utav en stålkonstruktion med utananpåliggande paroc isolering enligt konstruktionsritningar. En större port för olika transporter med truck eller liknande finns. En dörr finns bakom pressarna. Ett mindre fönster och ett luftintag är placerade på den södra väggen, den övre sidan i figur 3. Taket består av 120 mm isolering med en en gummimatta som tätskickt. I taket finns en brandlucka. Luckan står öppen långa tider för att vädra bort den varma luften när

tillverkningsprocessen är i gång. En mindre dörr finns för att komma upp på taket av zon 1. Dörren står öppen för att vädra bort varmluft. Zon 1 har en medeltemperatur av 30°C vid beräkningarna. Medeltemperaturer kommer från temperaturmätningar av de olika zonerna.

Det blå området i figur 3 benämns som zon 2 och innehåller operatörsrum där fabriken's olika processer sköts och övervakning av processens gång sker. I anslutning till operatörsrummet finns lunchrum och omklädningsrum för de anställda. I dessa lokaler vistas personalen större delen av sin arbetstid. Rummet håller en temperatur av 21°C (bilaga 2) och luften värms via ett ventilationsaggregat på operatörsrummets tak. Ventilationsaggregatet är av typen Flexit L12XE, den innehåller en plattvärmeväxlare (värmeåtervinnare=våv) och ett eluppvärmt värmebatteri som värmer uteluften till önskad utetemperatur. Zonen har även el-radiatorer för ytterliggare uppvärmning. För kylning av inneluften finns en AC-anläggning, Hitachi RAC-09G4 med 2,9 kW kyleffekt. Golvet är betong och väggarna är av träkonstruktion med 145 mm isolering plus in och utvändigt gips. Två dörrar har kontakt med uteklimat och en dörr är i kontakt med zon 1. Byggnaden för operatörsrummet och lunchrummet är inbyggd i zon 1, omklädningsrummet är byggd utanför befintlig byggnad. Fyra fönster finns i zon 2 och dessa är placerade i väggen mellan operatörsrummet och zon 1. Fönstren är av enkel 2-glas konstruktion.

Fabriken's paketeringshall är det blå området i figur 3. Området benämns som zon 3 i arbetet. Byggnaden är byggd 2008 och är placerad i kontakt med zon 1. Byggnaden är en stålkonstruktion med paroc 150 mm isolering utanpå stålkonstruktion. Fasaden består av bockad fasadplåt. 4st dubbelglasfönster är placerade på den östra sidan av zonen. Tre portar och två dörrar finns för passage och lastning. Taket består av 120 mm isolering med gummibeläggning som tätskick. I taket finns även två brandluckor. Golvet är en 150 mm betongplatta utan isolering. Zonen inrymmer fabriken's pellets paketering. Paketeringen sker i påse som sedan lastas på pall. Zonen inrymmer även kompressor för tryckluft och tre transportband för transport av pellets mellan tillverkning, silon (lagring) och paketeringen. Zon 3 har en medeltemperatur av 18°C vid beräkningarna.

Temperaturstudie

En temperaturstudie av de tre zonerna har gjorts mellan 12-03-2013 och 19-03-2013. Där loggades temperaturen på 5 ställen var 20:e minut i 7 dagar. Värdena jämförs sedan med värden för uttemperaturen i Grums över samma tidsperiod [14]. Placeringen av mätare Kau1 och Kau2 gjordes för att kunna mäta temperaturskillnaden mellan golvnivå och taknivå i zon 3. Kau3 placerades i syfte att ta fram medeltemperatur i zon1. Kau5 placerades vid porten i syfte att kunna se påverkan av att porten öppnas en längre tid genom att innetemperaturen ändras. Mätningar av zon 2 gjordes inte då protokoll (bilaga 2) finns för zonen. Mätarna placerades vid:

1. Kau1, Zon 3, Taket vid transportbanden
2. Kau2, Zon 3, Ställningen, vid golvet rakt under mätare 1¹
3. Kau3, Zon 1, Taket över operatörsrummet
4. Kau4, Zon 1, Den förhöjda delen över pelletspressarna
5. Kau5, Zon 3, Den stora porten mot söder

Mätning av ventilation

Mätningar för ventilationen har gjorts vid zon 2. Där mättes temperaturer av tilluft och frånluft samt att flödesmätningar utfördes över båda kanalerna. Mätningarna gjordes genom att ett hål borrades i kanalen cirka 3 m bakom/före ventilationsaggregatet. I hålen gjordes sedan mätningarna för flöde och temperatur.

Värmekamera

Värmekamera av typen Flir i5 har använts för kontroll av eventuella köldbryggor. Med kameran togs ett flertal bilder på olika punkter av klimatskalet, bland annat fönster, dörrar, tak och brandluckor. Vid Termografi eller värmefotografering så används ett objekts IR-strålning som omvandlas till en synlig värmebild. För att göra termografering används värmekameror. Kameran fungerar så att den använder osynlig infraröda strålningen för att skapa en bild. Till skillnad från ljus avger allt som inte är nollgrader Celsius värmestrålning. Desto varmare ett objekt är, desto mer IR-strålning avger objektet. [15]

¹ Kau2 försvann av någon anledning och några mätvärden från den fanns ej att tillgå.

Beräkning av U-värde

U-värdes beräkningar för golvet i byggnaden

$$U = 1/R_t. [W/m^2K] \quad (2)$$

$$U_{\text{platta}} = 0,1 \cdot U_{0-1} + 0,9 \cdot U_{1 \rightarrow}. [W/m^2K] \quad (3)$$

U-värdesberäkning enligt ekvation (2) gäller för alla klimatskalselement. R_t tas från klimatskalselementets tabell (tabell 1-10). R_t står för värmeledningsmotståndet hos klimatskalselementet. För golv används ekvation (3), det för att U_{0-1} står för 10 % av betongplattans(golvet) area det vill säga den yttersta kvadratmetern på plattan. $U_{0 \rightarrow}$ står för resterande 90 % av plattan, arean innanför U_{0-1} . Påslaget för köldbryggor vid de olika klimatskalselementen läggs till det beräknade U-värdet. Påslag för köldbryggor och u-värdes beräkningar har gjorts enligt [10].

Arean för golvet är 626 m² (Alla angivna areor och dimensionerande mått är tagna från konstruktionsritningar).

Påslag för betongplatta: $\Delta U_g(\text{normala brister})=0,02$

Tabell 1 beskriver materialdata för u-värdes beräkningar enligt ekvation (3) för arean från ytterkanten till 1 m in på betongplattan:

Tabell 1 Materialdata för betongplattan från ytterkanten till 1 m in. Benämns U_{0-1} i ekvation (3).

Material	Tjocklek d[m]	$\lambda[W/mK]^2$	$R(d/\lambda)$
Betong	0,15	1,7	0,88
Makadam			0,2 ³
Lera			1,0 ³
Ri+Ru			0,17 ⁴
R_t			1,7

Tabell 2 beskriver materialdata för u-värdes beräkningar enligt ekvation (3) för arean en meter innaför ytterkant av betongplattan:

Tabell 2 Materialdata för betongplattans innersta area. Benämns $U_{1 \rightarrow}$ i ekvation (3).

Material	Tjocklek d[m]	$\lambda[W/mK]$	$R(d/\lambda)$
Betong	0,15	1,7	0,09
Makadam			0,2 ³
Lera			3,4 ³
Ri+Ru			0,17 ⁴
R_t			3,85

² Samtliga λ i rapporten hämtas från [16].

³ Alla ej framräknade R kommer från [10].

Indata för u-värdes beräkningar av vägg

$U_{\text{vägg}}$ beräknas enligt formel (2).

Area väggar: Zon 1: 422 m², Zon 2: 146 m² och Zon 3: 714 m².

Tabell 3 Materialdata för vägg i zon 1 för vidare U-värdesberäkningar.

Material	Tjocklek d[m]	λ [W/mK]	R(d/ λ)
Lättbetong	0,2	0,77	0,26
Ri+Ru			0,17
Rt			0,43

Påslag för vägg i tabell 3: $\Delta U_g=0,02$

Tabell 4 Materialdata för vägg i zon 2 för vidare U-värdesberäkningar.

Material	Tjocklek d[m]	λ [W/mK]	R(d/ λ)
Yttergips	0,09	0,72	0,13
Lösull	0,15	0,06	0,35
Gips	0,03	0,72	0,42
Ri+Ru			0,17
Rt			1,07

Påslag för vägg i tabell 4: $\Delta U_g=0,02$

Tabell 5 Materialdata för vägg i zon 3 för vidare U-värdesberäkningar.

Material	Tjocklek d[m]	λ [W/mK]	R(d/ λ)
Tätskikt			
Paroc	0,15	0,036	4,17
Ri+Ru			0,17
Rt			4,34

Påslag för vägg i tabell 5: $\Delta U_g=0,02$

U-värden och area för byggnadens portar

Tabell 6 Areor och U-värden för portar i de olika zonerna.

Område	Beskrivning	U-värde [W/m ² K]	Area[m ²]
Zon 1	Stålport, södra sidan	2,7	16
Zon 3	Stora porten, söder sidan	2,7 ⁴	10
Zon 3	Stål port, västra sidan	2,7	10
Zon 3	Rapid roll, norra sidan	2,7	10

⁴ Värdet finns markerats på porten och har antagits för alla portar vid beräkningar.

U-värden och area för byggnadens dörrar

Tabell 7 Areor och U-värden för dörrar i de olika zonerna.

Område	Beskrivning	U-värde [W/m ² K]	Area[m ²]
Zon 1	Stål dörr, väster	2 ⁵	2
Zon 2	Ytterdörr, norr	2	2
Zon 2	Dörr mellan zon1/zon2	2	2
Zon 3	Stål dörr, Syd	2	2
Zon 3	Stål dörr, väst	2	2

U-värden och area för byggnadens fönster

Tabell 8 Areor och U-värden för fönster i de olika zonerna.

Område	Beskrivning	Antal	U-värde [W/m ² K]	Area[m ²]
Zon 1	2-glas, syd	1	2,81[17]	1
Zon 2	2-glas, zon1/zon2	3	2,81[17]	4,3
Zon 3	2-glas argon, öst	1	1,1[17]	13,5

⁵ En överslagsberäkning har gjorts och gäller för alla dörrar.

Indata för u-värdes beräkningar av byggnadens tak

U_{Tak} beräknas enligt formel (2).

Area: Zon 1, Zon 2(ute) och Zon 3: 615 m² och Zon 2: 29 m².

Tabell 9 Materialdata för tak i zonerna Zon 1, Zon 2(ute) och Zon 3 för vidare U-värdesberäkningar.

Material	Tjocklek d[m]	λ [W/mK]	R(d/ λ)
Tätskikt			
Isolering	0,02	0,06	0,35
Isolering	0,1	0,06	1,72
Ri+Ru			0,17
Rt			2,24

Påslag för tak i tabell 9: $\Delta U_g=0,02$, ΔU_k (springor mellan materialskikt)=0,01

Tabell 10 Materialdata för tak i zon 2 för vidare U-värdesberäkningar.

Material	Tjocklek d[m]	λ [W/mK]	R(d/ λ)
Tätskikt			
Isolering	0,02	0,06	0,35
Isolering	0,10	0,06	1,72
Gips	2*0,02	0,72	0,42
Ri+Ru			0,17
Rt			2,28

Påslag för tak i tabell 10: $\Delta U_g=0,02$, $\Delta U_k=0,01$

U-värden och area för fabriken brandluckor

Ventisol Brandventilator plåtbeklädd. U-värde = 0,7 W/m²K(Värde framtaget från produktbroschyr av tillverkare Ventisol). Fabriken brandluckor har arean 7,6 m².

Beräkningen av energi

$$Q = U * A * \Delta T * t \quad (4)$$

Tiden (t) är för golv beräknad som antalet timmar per år 8760 h och för övriga klimatskalselement efter antalet timmar på en månad 720 h.

Effekten är beräknad enligt ekvation (4) som U-värdet gånger arean på fasadelementet. Värdet multipliceras med temperaturskillnaden mellan innetemperatur och utetemperatur (ΔT). För att få energin per år, tas effekten gånger antal timmar (t) på ett år.

Vid beräkningar av energiförlust hos golvet under ett år, har markmedeltemperaturer 6°C använts. Utgår i fråga om att markens medeltemperatur är lika med årsmedeltemperaturen [15].

Utgick från timvärden över 2012 vid Grums för beräkning av energiförluster hos övriga klimatskåselement [15]. Genom timvärdena har månadsmedeltemperaturer tagits fram och sedan beräknat energitransporten genom varje byggnadselement per månad för att se hur energitransporten varierar över ett år.

Energiförlust, ventilation i zon 2

Önskad tilluftstemperatur i zon 2, är 20°C enligt protokoll, se bilaga 2. Beräkningar har gjorts med hjälp utav varaktighetsdiagram, se bilaga 1.

$$\eta = \frac{T_{\text{å}} - T_{\text{u}}}{T_{\text{f}} - T_{\text{u}}} \quad (5)$$

$T_{\text{å}}$ = Temperatur efter våv.

T_{u} = Temperaturen på uteluften.

T_{f} = Temperatur på utgående luft från rummet.

η (Verkningsgraden för våv) = 0,55. Ekvation (5) används för beräkning av olika temperaturer efter våv vid olika utetemperaturer. Temperaturerna används för vidare beräkningar i varaktighetsdiagram, se bilaga 1.

$${}^{\circ}\text{Ch} = \frac{\Delta^{\circ}\text{C} * \Delta h * 8760}{2} \quad (6)$$

$\Delta^{\circ}\text{C}$ = Temperatur differans, se bilaga 1.

Δh = Andelen timmar per år, se bilaga 1.

Värdet ${}^{\circ}\text{Ch}$ (gradtimmar) beräknas fram i ekvation (6). Värdena för beräkning är hämtade från varaktighetsdiagramet, se bilaga 1.

Energiberäkning för våv, elbatteri/el-radiator och ac

$$Q = \dot{v} * \rho * c_p * {}^{\circ}\text{Ch} \text{ [kWh]} \quad (7)$$

\dot{v} = volymflöde enligt bilaga 2.

$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$

$c_p = 1,005 \text{ kJ/kg} * \text{K}$

${}^{\circ}\text{Ch}$ = Antal gradtimmar se bilaga 1.

Ekvation (7) beräknar energin för uppvärmning och kylning av zon 2.

Beräkning av självdragssystem ventilation zon 1 och zon 3

$$\Delta P_{term} = 0,043 * \Delta T * z. \quad [\text{pa}] \quad (8)$$

Indata:

0,043 är en konstant enligt [10].

$$z_{\text{zon 1}} = 2 \text{ m}$$

$$z_{\text{zon 2}} = 12 \text{ m}$$

Ekvation (8) används för att beräkna trycket på en given höjd z.

Antagande:

Bortser från ΔP_{vind} då byggnaden är omgiven av andra byggnader som ger svåra förhållanden att ta fram data för beräkningar av vindhastigheternas påverkan vid de olika ytorna.

$$Ra = 0,8 * A * \sqrt{\Delta P_{term}} \quad [\text{m}^3/\text{s}]. \quad (9)$$

$$Q_{sj.drag} = \dot{v} * \delta * c_p * \Delta T \quad (10)$$

$$\dot{v} = Ra$$

Ekvation (10) används för att beräkna energiförlusten över tid för självdraget. Ra ekvation (9) beräknar flödet genom den öppna ytan i klimatskalet.

Beräkningarna har gjorts i Excel med temperaturdata per timme [15]. Värdena har lagts samma för att få den total energiförlust över de öppna ytorna i klimatskalet.

Areor för beräkning:

Zon1:

$$A_{\text{brandlucka}} = 2,34\text{m}^2$$

$$A_{\text{dörr}} = 1,12\text{m}^2$$

Zon3:

$$A_{\text{luftspalt}} = 0,02\text{m}^2 * 2$$

Temperaturer:

- T_{inne} beräknad efter medelvärden på tempmätningar.
- T_{ute} vid beräkning tagna från timvärden över 2012 [15].

Energiförlust till följd av pelletsprocess

Ekvation (11) beräknar hur mycket energi det krävs för att värma luften som tas in till pelletsprocessen. Rumsluft används för kylningen av pellet. Luftmängden ersätts med uteluft som sedan behöver värmas till rumsmedeltemperatur.

$$Q_{luft} = \dot{m} * c_p * \Delta T(T_1 - T_2) * 7920. \quad (11)$$

Indata:

7920 är antalet drifttimmar per år [17].

$\dot{m} = 0,30 \text{ kg/s}$

$T_v = 30^\circ\text{C}$

$T_k = 6^\circ\text{C}$

Beräkning av tidskonstanten(τ)

$$\tau = \frac{\sum c * m}{\sum U_{korr,i} * A_i + \sum \Psi_k * l_k + \sum X_j + Q_{vent}} * \frac{1}{3600} \quad (12)$$

$\sum c * m$ beskriver summan av byggnadsdelars och tunga inventariers värmekapacitet (Ws/K), $\sum U_{korr,i} * A_i + \sum \Psi_k * l_k + \sum X_j$ beskriver summan av transmissionsförlusterna (W/K) och Q_{vent} beskriver värmeeffektörlusterna förorsakade av ventilationen och luftläckage (W/K), förenklad $0,33 * n * V$ [11].

Tabell 11 Massan och värmekapacitans i de tre zonerna för innehållande material.

	M betong[kg]	M stål [kg]	C _{betong} [J/kg*K]	C _{stål} [J/kg*K]
Zon1	800000	100000	840[5]	447[5]
Zon2	23000		840	447
Zon3	167000	25000	840	447

Värden från tabell 11 används i ekvation (12) för beräkning av tidskonstanten.

Känslighetsanalys

En känslighetsanalys har gjorts för att se vilka parametrar som har störst påverkan på energiförlusterna. Analysen gjordes genom att beräkna de olika förlusterna och se hur mycket dom procentuellt ändrades vid de olika åtgärderna. De delar som kollades i känslighetsanalysen var:

- Den totala transmissionen.
- Självdraget i zon 1 och 3.
- Qluft.

Vid transmission, självdrag och Qluft ändrades innetemperaturen $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Vid transmissionen ändrades också U-värdet $\pm 20\%$ och vid självdrag ändrades istället arean $\pm 50\%$. Vid Qluft ändrades flödet $\pm 50\%$. Ändringarna gjordes på grund av att det är indatan för de olika energiflödena.

Efter beräkningarna gjordes en bedömning över hur stor påverkan de olika parametrarna har för den totala energiförlusten. Åtgärderna gavs bedömningen: Stor, liten eller obetydlig.

Förbättringsåtgärder

Efter att värden på energiförlusterna är framtagna, väljs förbättringsåtgärder som kan minska energiförlusterna ur zonerna.

Det görs en bedömning av påverkan för varje förbättringsåtgärd.

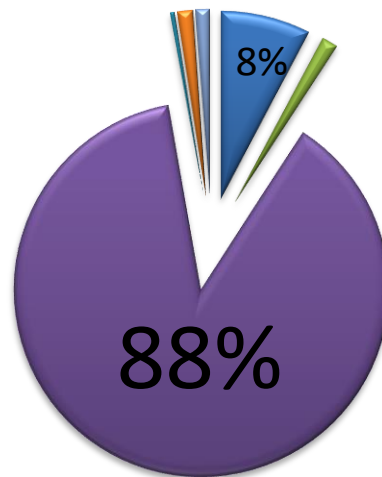
Resultat

Tabell 12 visar storlek av olika energiförlusterna i kWh per år. I figur 4 visar hur stor andel av den totala energiförlusterna som varje energiförlust står för. Självdraget i zon 1 står för 88 % av den totala energiförlusten. Transmissionen i zon 1 har även den en betydande påverkan av energiförlusterna med sina 8 %. Den kvarvarande energiförlusterna står tillsammans för de återstående 4 %.

Tabell 12 Energiförluster i kWh.

Förluster	kWh
Transmission zon1	181600
Transmission zon2	2100
Transmission zon3	33200
Självdrag Zon1	2087300
Självdrag Zon3	8800
Qluft	31600
Ventilation zon2	25600

Andel av den totala energiförlusten

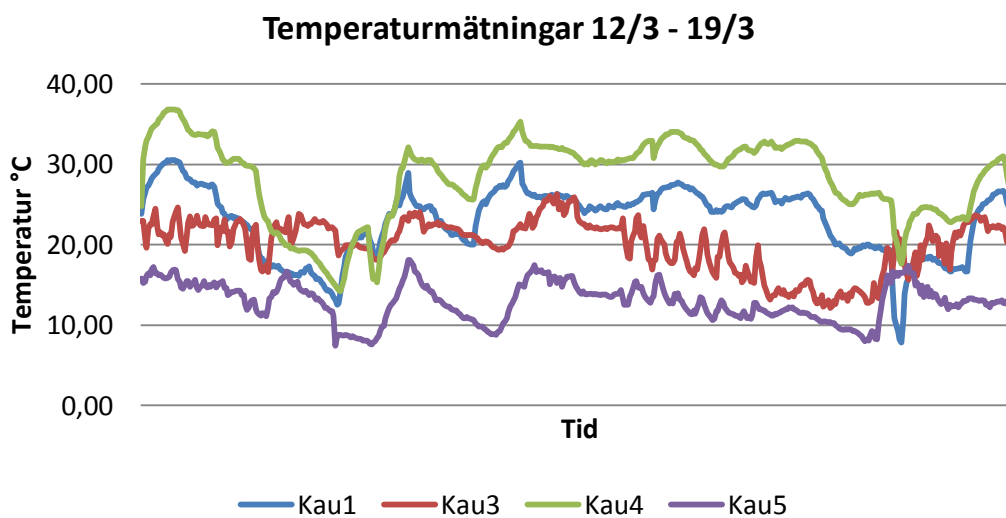


- Transmission zon1
- Transmission zon2
- Transmission zon3
- Självdrag Zon1
- Självdrag Zon3
- Qluft1
- Ventilation zon2

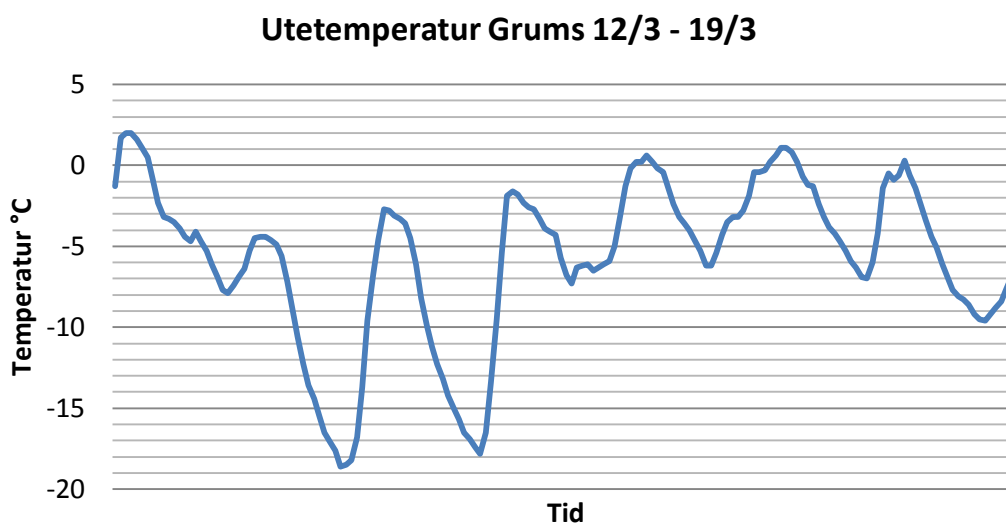
Figur 4 Översikt över energiförluster i procentuell fördelning.

Temperaturmätningar:

Figur 5 visar en jämförelse över temperaturvariationen över en vecka vid fyra mätpunkter i lokalen. Figur 5 och 6 visar hur snabbt innetemperaturer påverkas av utetemperaturens variation. Driftstopp i pelletsprocessen har också gjort att temperaturen i lokalen påverkats. Tidsskalan i figur 5 och 6 ska visa tiden mellan temperaturstudiens början till slut.

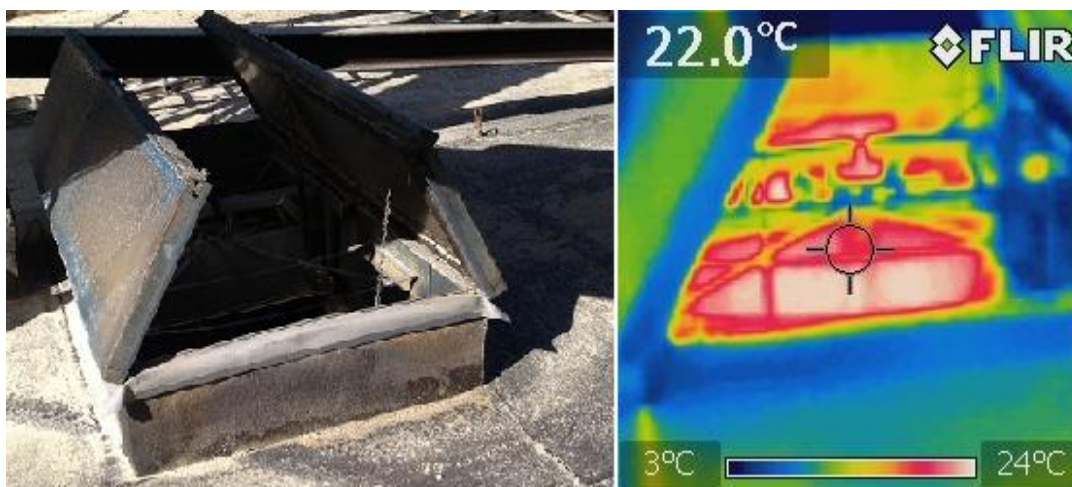


Figur 5 Temperatur mätningar i Zon 1 och Zon3.



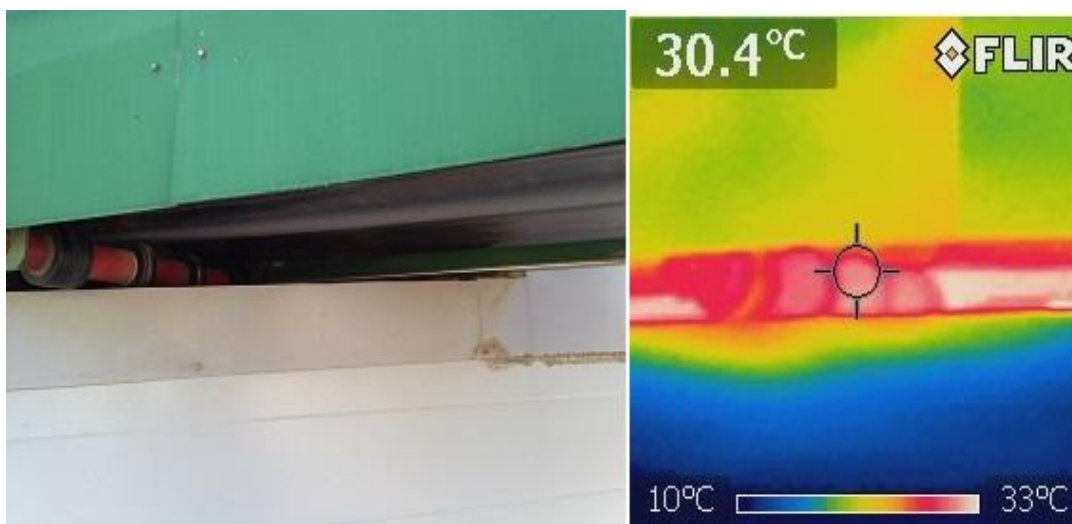
Figur 6 Temperatur i Grums 12/3 till 19/3.

Värmekamerabilder



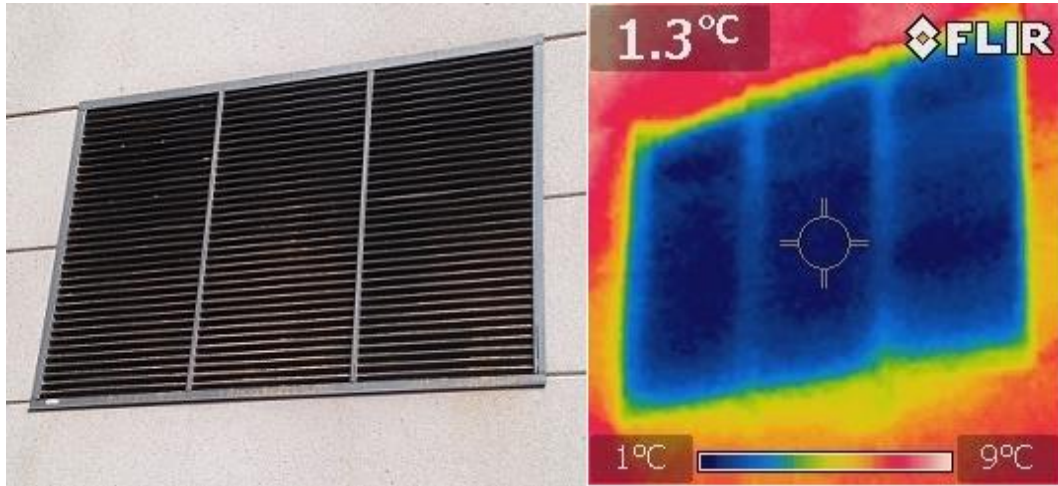
Figur 7 Brandlucka Zon 1.

Brandluckan vid Zon 1 är ett ställe där en stor del av energiförlusten sker. Värmekamerabilden figur 7 visar att temperaturen kan skilja mellan 24°C på det varmaste stället där den varma inneluften stiger och ner till 3°C där ute luften är i kontakt med ytorna utan påverkan av inneluften. Det visar på ett stort energiflöde.



Figur 8 Bandtransport in i Zon 3.

Figur 8 visar den ena bandtransporten av pellets in i Zon 3. Vid springan under bandtransporten läcker stora mängder energi. Vid ytan varierar temperaturen mellan springan och ytterväggen mellan 33 °C och 10 °C.



Figur 9 Intag för luft Zon 1.

Figur 9 visar intaget för luft i zon 1. Här sugts stora mängder uteluft in i zonen. Det görs på grund av det termiska självdraget från brandluckor och den öppna dörren till taket. Luft sugts in genom att luckan är kallare än väggen. Hade luft strömmat ut ur luckan hade förhållandet varit det motsatta, det vill säga att luckan hade varit varmare än väggen.

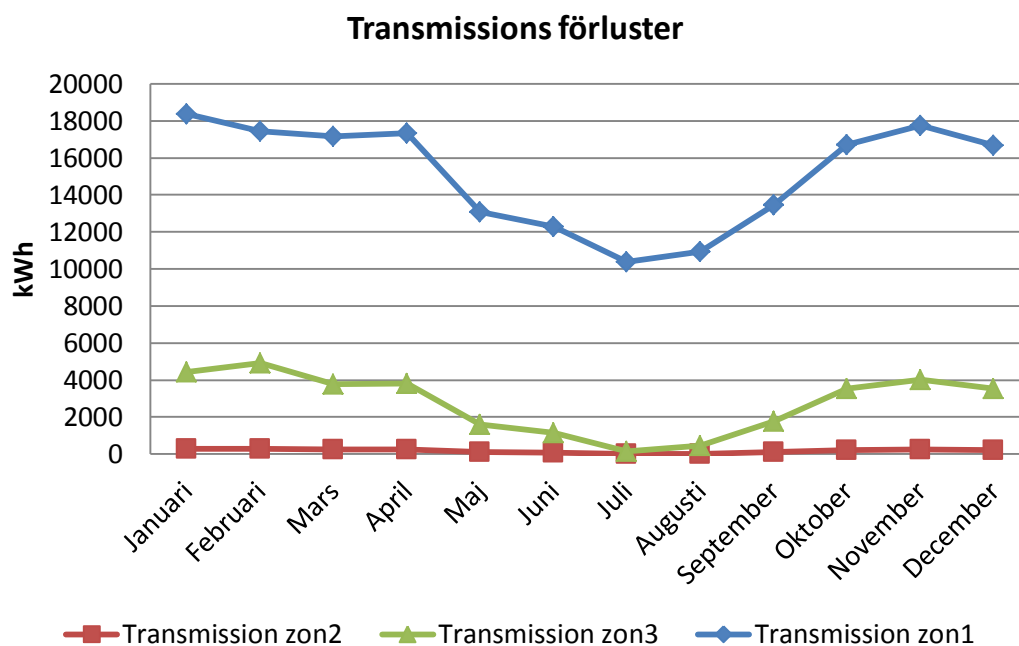


Figur 10 Port och dörr södervägg Zon 3.

Figur 10 visar att portar och dörrar bildar svaga delar av klimatskalet, då mer energi läcker ut genom porten än genom den vanliga väggen. Figur 10 visar att marken direkt utanför väggen har en något ljusare färg än marken längre ut från väggen. Det visar att en viss mängd energi smiter ut från klimaskalet genom en köldbrygga.

Transmission

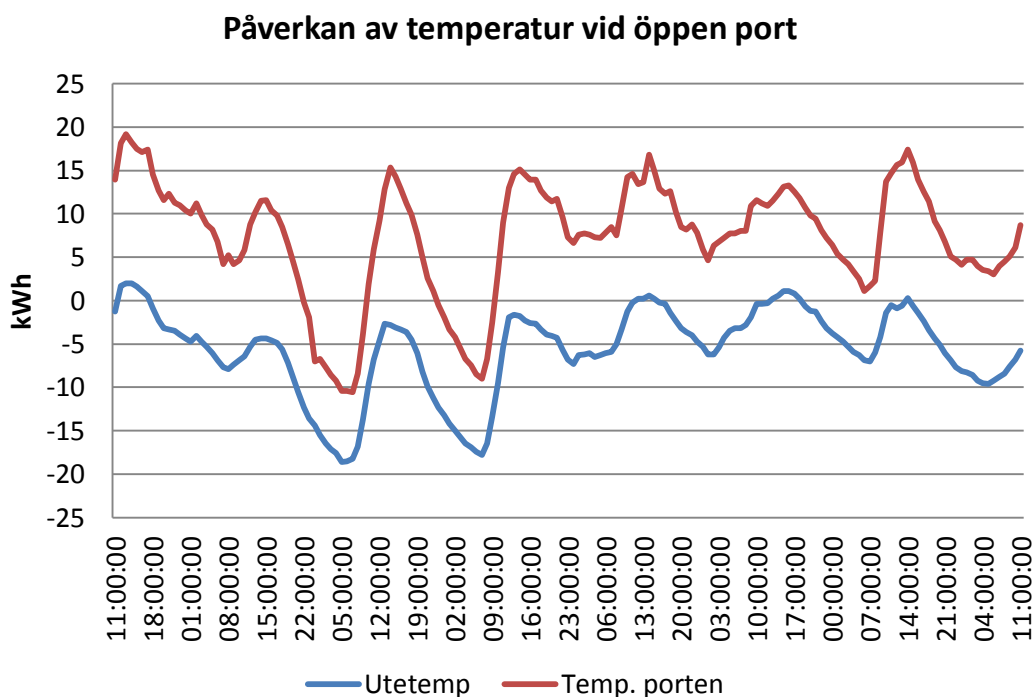
Transmissionen är beroende av temperaturskillnader mellan inne- och uteklimat enligt figur 11. Det gör att sommartid kan transmissionen sjunka ända ner till 0 kWh och ger då nära på ett energitillskott av värme till inneklimatet istället för resterande tid då den orsakar en energiförlust. Genom att Zon 1 har en hög innetemperatur läcker det ut energi även sommartid i den zonen.



Figur 11 Transmissionsförluster i de tre zonerna.

Rutiner

Temperaturen inomhus påverkas av utetemperaturen. När portar och dörrar öppnas påverkas inneklimatet snabbare av utetemperaturen. Då energi läcker ut genom öppningen och orsakar att temperaturen inomhus sjunker. Figur 12 visar att innetemperaturen påverkas av utetemperaturen, det görs genom att temperaturdifferensen mellan inne och ute varierar. Under mätperioden ligger temperaturdifferensen mellan inne- och utetemperatur på cirka 8-12°C. Men vid vissa tidpunkter under mätperioden är temperaturdifferansen mindre. Det tyder på att porten står öppen en längre tid. Under perioder kan temperaturdifferensen sjunka ända ner till 2°C. När porten stängs behöver luftmängden kyld luft värmas upp till rumstemperatur och det kräver energi.



Figur 12 Innetemperaturs påverkan av yttertemperatur.

Känslighetsanalys

Tabell 13 visar olika energiflödena som påverkar energiförlusterna mest. Det tabell 13 visar är hur stor påverkan en ändring i indata skulle få för beräkningen av den totala energiförlusten hos byggnaden i jämförelse mot den totala energiförlusten före åtgärden. En temperatur- och areaförändring hos självdraget skulle ge en stor påverkan. Förändringar i indata hos Qluft och transmissionen har en obetydlig eller liten förändring för den totala energiförlusterna i byggnaden.

Tabell 13. Känslighetsanalysen visar olika åtgärders påverkan av energiförlusten.

Kategori	Andel	Åtgärd	Ny andel	Påverkan
Transmission	9%	Plus 5°C	12%	Liten
	9%	Minus 5°C	7%	Liten
	9%	U-värde +20%	11%	Liten
	9%	U-värde -20%	8%	Liten
Självdrag	88%	Plus 5°C	116%	Stor
	88%	Minus 5°C	64%	Stor
	88%	Area +50%	133%	Stor
	88%	Area -50%	44%	Stor
Qluft	1%	Plus 5°C	2%	Obetydlig
	1%	Minus 5°C	1%	Obetydlig
	1%	Flöde +50%	2%	Obetydlig
	1%	Flöde -50%	1%	Obetydlig

Tidskonstant

- Zon 1 = 194 h = 8 dygn
- Zon 2 = 22 h = 0,9 dygn
- Zon 3 ≈ 57 h = 2,4 dygn

Förslag till förbättringsåtgärder

- Minska självdraget i zon 1.
- Minska självdraget i zon 3.
- Upprätta allmänna rutiner.
- VB (värmebatteri) istället för elradiatorer i zon 2.

Diskussion

Ventilation:

Zonerna 1 och 3 ventileras genom självdrag från öppningar i klimatskalet. I Zon 1 sker den största delen av självdraget genom brandluckan och en dörr som används för att gå ut på taket. Öppningarna har stått öppna vid besök av pelletsfabriken. Vid beräkningarna har öppningarna varit öppna den tid som processen är igång. Verkligheten ser inte ut på samma sätt utan luckorna står stängda en obestämd tid. Enligt känslighetsanalysen påverkas självdraget av temperaturdifferensen. Vintertid är temperaturdifferansen som störst och det är då som den största energiförlusten sker. Om luckorna är stängda vissa perioder gör inte det stor skillnad för energiförlusten utan det leder till att temperaturen inne i zonen ökar och andra flöden som transmissionen ökar. Rapporten visar att det största flödet ur zonen är självdraget. Zon 3 har också den en stor energiförlustpost i form utav självdrag. Här är det hål i klimatskalet som skapar självdrag. Genom att zon 3 har en lägre medeltemperatur än zon 1 hålls energiförlusten nere. Den är trots det stor enligt tabell 12, den står nästan för en halv årsförbrukning av energi hos en normalstor villa i jämförelse. I zonen öppnas och stängs portar i betydligt större utsträckning än i zon 1. Det leder till energiförluster. Tyvärr är förlusterna svåra att beräkna och brist av tid har lett till att bortser från energiförlusten vid beräkning.

I zon 2 sker ventilationen med ett relativt modernt FTX-system. Det gör att den varma inneluften i zonen värmer den kalla uteluften som kommer in i aggregatet. Genom att aggregatet är modernt är möjligheterna till förbättringar små. Luften värms upp utav ett elbatteri, det skulle kunna ersättas med ett värmebatteri som värms upp av fjärrvärme förslagsvis.

Klimatskal:

Transmissionen genom alla byggdelar står för cirka 9 % av alla energiförluster enligt figur 2. En åtgärd för att minska energiförlusterna är att till exempel tilläggisolera byggnadselement, en sådan förändring är komplicerad och kräver mycket arbete i förhållande till den förändring det skulle göra för den totala energiförlusterna. Zon 2 och 3 är relativt nybyggda zoner och har låga energiförluster då väggar består av en isoleringsteknik som håller nere U-värdet på en lågnivå. Zon 1:s klimatskal är äldre och består av lättbetongblock med höga U-värden. Här sker den största delen av energiförlusterna genom transmission. Förbättringar i klimatskalet hos Zon 1 kräver nybyggnation av hela Zon 1

byggnaden och skulle vara mycket kostsam men samtidigt göra en relativ liten förbättring gällande totala energiförlust hos byggnaden.

Pelletsprocess:

En av energiförlusterna är kylningen av pellets. Det sker genom att luft sugas in vid pelletspressen som kyler och tar bort ånga direkt efter processen. Där till försvinner energi i form utav konvektion från alla ytor vid pelletsprocessen. Konvektionen från pelletsprocessen ytor är svår att påverka, en åtgärd är att leda in uteluft till kylningen av pellets direkt efter pelletpressarna. Det skulle minska den totala energiflödena marginellt med cirka 1 % enligt tabell 12. För att göra den marginella förbättringsåtgärden skulle kostnaden bli relativt hög i förhållande till hur stor förbättringen blir.

Påverkan av uteklimat:

Uteklimatet påverkar inneklimatet på olika sätt, dels direkt i form av temperatur men också genom strålning och fukt. I rapporten tas bara hänsyn till påverkan av temperaturdifferenser. De olika zonerna påverkas på olika sätt gällande utetemperatur eller snarare olika snabbt. Som tidskonstanten visar tar det längre tid för Zon 1 att påverkas av utetemperaturen. Det kan vara fördelaktigt vid ett driftstopp vintertid då det tar längre tid innan det krävs att andra värmekällor sätts in än själva pelletsprocessen som värmer zonen vanligtvis. På sommaren är det inte negativt eftersom personal inte visas regelbundet i lokalen. Det ställs inga speciella krav på att lokalen ska uppnå någon bestämd temperatur.

Zon 2 har ett en kortare tidskonstant men den zonen har en begränsad yta som är i direkt kontakt med uteklimat och påverkas därför inte speciellt mycket vid snabba utetemperaturförändringar.

Zon 3 är en medeltung byggnad där det inte ställs några speciella krav på temperatur. Det gör att byggnade klarar sig bra mot utetemperaturförändringar samtidigt som förändringar i inneklimat går att tolerera då ingen personal visas regelbundet i lokalen.

Andra faktorer:

Viktigt att beakta vid alla förbättringar gällande energiförluster är att en minskning av dessa inte skapar några besparingar rent kostnadsmässigt eller miljömässigt utan det kommer leda till högre innetemperatur och kanske ett sämre inneklimat. De förslagna åtgärderna måste ske i samband med minskningar av energitillskotten. Det ger en kostnads- och miljöförbättringar utan att ge ett sämre inneklimat i byggnaden.

Om arbetet:

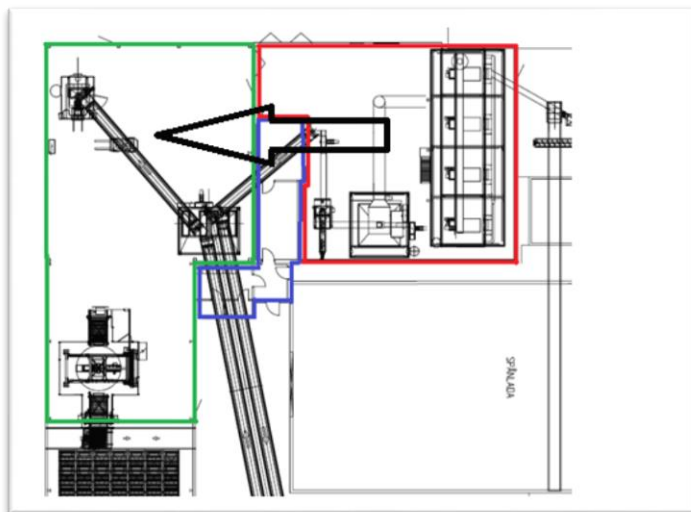
Längre mätserier och en större mängd indata skulle önskats för att få mer exakta beräkningar och antaganden. Arbetet är begränsat till en kortare tidsperiod. Mätvärden tas i från den kortare perioden och sedan uppskattas hur mätvärderna står sig över ett helt år. Skulle arbetet påbörjats redan första januari 2012 och samlat mätvärden hade arbetet förenklats och resultaten hade blivit mer tillförlitliga. Rapporten visar ändå klart och tydligt vilka energiförluster som påverkar den totala energiförlusten mest och påverkan skulle se liknande ut vid längre mätperioder.

Slutsats

Förbättringsåtgärder:

1. Minska självdraget i zon 1

Minska självdraget i zon 1 genom att förflytta värmen genom en ventilationskanal till zon 3. Det sker genom att en ventilationskanal leder den varma luften från Zon 1 (röd) till Zon 3 (grön) se figur 13. Det görs med hjälp utav en fläkt som förflyttar luften. Genom denna åtgärd sparas den energin som går åt till att värma zon 3. En viss ökning av elförbrukningen sker genom den fläkt som förflyttar luften. Energibesparning uppgår till 80 MWh/år enligt [1], minus energin för fläkten.



Figur 13 Beskrivning av värmeförflyttning.

2. Täta springor för självdraget i Zon 3:

Det finns två springor 0,1*2 m där energi läcker ut ur byggnaden. Det åtgärdas genom att man tätar springorna med isolering och ett tätskikt. Genom denna mindre åtgärd minskar energiförlusten i zon 3. Energibesparningen enligt beräkningar uppgår till 8,8 MWh per år se tabell 12.

3. Allmänna rutiner:

Låt inte dörrar, portar eller fönster stå öppna onödigt länge. Öppningar i klimatskalet leder till en varierande temperatur i

byggnaden se figur 12. Åtgärden leder till energi- och kostnadsbesparningar.

4. Koppla på värmebatteri i zon 2 istället för elradiatorer:

Vid mätningar av ventilationen i zon 2 upptäcktes att luften efter värmeväxlaren inte värms av värmebatteriet utan luften värms med hjälp utav elradiatorer inne i zonen. Förbättringen leder till ett bättre inneklimat för personalen som vistas i zonen. Då kall luft kan upplevas som drag och den termiska komforten försämras.

Tackord

Jag vill tacka några personer för hjälp att utföra examensjobbet:

- Handledare Magnus Ståhl och Stefan Frodeson har hjälpt till att klara av de problem som uppstått under arbetets gång och hjälpt till vid rapportskrivande.
- Stefan Olsson som varit kontaktperson hos Stora Enso Timber, som hjälp till att ta fram den information som behövs för beräkningar och rapportskrivande.
- Lars Pettersson som lånat ut den labb-utrustning som har behövts för olika mätningar.
- Anna Westerberg som hjälp mig med engelsk gramatik och översättning.

Referenser

- [1] Johansson, Vilhelm, Kartläggning av energitillskott för Stora Enso Timbers pellestfabrik i Grums.
- [2] Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien, Energianvändning i industrin, http://www.iva.se/upload/Verksamhet/Projekt/Energiframsyn/Industri%20kompl_ett3.pdf, hämtad den 15 maj 2013
- [3] Energimyndigheten, Mål rörande energianvändning i Sverige och EU, <http://energimyndigheten.se/sv/Offentlig-sektor/Tillsynsvagledning/Mal-rorande-energianvandning-i-Sverige-och-EU/>, hämtad den 15 maj 2013
- [4] Energimyndigheten, Programmet för energieffektivisering, <http://webbshop.cm.se/System/TemplateView.aspx?p=Energimyndigheten&view=default&id=b33b11055db146e681035799fc0d7f0f>, hämtad 2013-05-08
- [5] Bioenergi, Vanliga frågor om pelletseldning, http://www.bioenergilulea.se/Pages/sv-SE/pellets_faq.aspx, hämtad den 8 maj 2013.
- [6] Stora Enso, Stora Enso Pellets, <http://pellets.storaenso.com/StartPage/StartPage.aspx>, hämtad den 8 maj 2013.
- [7] Svensk ventilation, Boverkets byggregler, <http://www.svenskventilation.se/?id=1294>, hämtad den 2013-05-02
- [8] Boverket, Vilka regleringar finns det om inomhusluft i Sverige?, <http://www.boverket.se/Kontakta-oss/Fragor-och-svar/Boverkets-byggregler-BBR/Avsnitt-6-Hygien-halsa-och-miljo/Luft-och-ventilation/Vilka-regleringar-finns-det-av-inomhusluft-i-Sverige/>, hämtad den 2013-05-02
- [9] Isover, Boverkets byggregler, BBR, http://www.isover.se/files/Isover_SE/Om_Isover/Kontakta_oss/Broschyrer_Bygg/BBR%20Broschyr%202.pdf, hämtad den 2013-05-02
- [10] Warfvinge, Catarina och Dahlblom, Mats. 2011. Projektering av VVS-installationer. Lund, Studentlitteratur AB.
- [11] Hamrin, Gösta . 1996. Byggnadsteknik Del B. Göteborg, AMG Hamrin.
- [12] Petersson, Bengt-Åke. 2010. Tillämpad Byggnadsfysik. Lund, Studentlitteratur AB.

- [13] Energimyndigheten, Handbok för kartläggning och analys av energikartläggning, <http://energimyndigheten.se/Global/F%C3%B6retag/kart.pdf>, hämtad den 2013-05-08
- [14] Temperatur.nu, Mätplatser Grums, <http://www.temperatur.nu/>, hämtad 2013-05-08
- [15] FLIR, Vad är termografi?, <http://www.flir.com/cs/emea/se/view/?id=41536>, hämtad den 8 maj 2013
- [16] Cengel, Yunus A och Ghajar Afshin J. 2011. Heat and Mass transfer, fourth edition in SI units. New York, McGraw-Hill Companies.
- [17] Saint Gobain Glass, Sgg Climaplus Ultra N, http://www.sggs.com/Emmaboda/images/FCK/Climaplus%20Ultra_070702_low.pdf, hämtad den 11 april 2013
- [18] Olsson, Stefan, Personlig kontakt mellan 2013-01 till 2013-06