

HALLS DE STOCKAGE DE BOIS TYPE BEST-HALL

ANALYSE DE PROTECTION CONTRE L'INCENDIE

Résistance au feu d'un hall de stockage de bois ayant une membrane
de couverture en tissu technique enduit PVC

4.6.2002



1. GÉNÉRALITÉS

Le but de cette analyse est d'évaluer les températures ayant un effet sur la charpente d'acier porteuse d'un entrepôt de bois de Best-hall et les changements dans la température générale en cas d'incendie. La conformité aux conditions a été contrôlée avec une autre méthode prouvée et fiable, compte tenu des caractéristiques et de l'utilisation des bâtiments (Code finlandais de construction E1, 1.3.1 [6])

Ce rapport concerne uniquement des entrepôts où le bois est stocké attaché en paquets très serrés (p.ex. avec des bandes d'acier) de bois (raboté ou non), dont seule la couche extérieure peut être la couche enflammée. Ce rapport n'est pas applicable au bois stocké en vrac ou aux piles de grumes.

2. INFORMATIONS DE BASE SUR L'OBJET EN REFERENCE

L'objet de la simulation et des calculs était un entrepôt de bois de l'usine d'affinage de Nerkoo à Linnakylä. La longueur de l'entrepôt est de 36 m, la largeur de 22 m, la hauteur des longs pans de 4,9 m et la hauteur du faîte d'environ 7,7 m. L'analyse a été effectuée aussi bien pour un entrepôt ordinaire, avec des murs fixes, que pour un entrepôt couvert de toile PVC de type Best-hall.

L'entrepôt est un bâtiment de construction légère, couverte d'une toile PVC dont la résistance au feu est d'environ 200 °C et qui a été homologuée comme un matériel difficilement inflammable pour des structures métallo-textiles selon les normes strictes relatives à la sécurité anti-incendie (certificat d'homologation 0524/94). Le matériel est également ignifugé et correspond ainsi à la catégorie d'enduction de 1/II, mais il n'a pas d'homologation en Finlande.

3. CLASSE DE RESISTANCE AU FEU, CLASSE DE COMBUSTION ET STRUCTURE PORTANTE

La charge feu de l'entrepôt de bois est au-dessus de 1200 MJ/m².

Classe de résistance au feu de la charpente portante des entrepôts à un étage et la surface maximum permise selon paragraphes E1 et E2 dans le code finlandais de construction.

Cl. de résistance au feu et cl. de combustion	Surface de compartiment feu maximum permise et structures portantes		
	Niveau protection 1	Niveau protection 2	Niveau protection 3
P1, 1	6000, R60	12000, R60	à discrétion, R60, R30*, R15*
P1, 2	2000, R60	4000, R60	à discrétion, R60, R30*, R15*
P2, 1	4000, R30, R15*	6000, R30, R15*	à discrétion, R30, R15*
P2, 2	1000, R30	2000, R30	à discrétion, R30, R15*
P3, 1	2000, -	4000, -	12000, -

P3, 2 non permis non permis 2000, -

* Modification possible selon E2

La classe de combustion d'un entrepôt de bois contenant du bois sec, est 2 (industrie de bois mécanique, bois sec), donc la classe de résistance au feu dépend du niveau de protection et de la surface de construction. Le niveau de protection prévu des entrepôts de bois est 1, alors, en fonction de la surface de construction, leur classe de résistance au feu est soit P1 soit P2. Selon le tableau ci-dessus, la charpente portante des entrepôts de bois de classe P1 et du niveau de protection 1 doivent résister au feu pendant 60 minutes (R60), tandis que les entrepôts de classe P2 doivent résister au feu pendant 30 minutes (R30). Un espace utilisé seulement pour le stockage du bois, peut également être considéré représenter la classe de combustion 1, étant donné que le stockage ne génère pas de poussière fine ou de vapeur pouvant causer un risque d'explosion. Dans ces cas, les structures portantes à un étage de la classe P2 doivent remplir les conditions de résistance au feu de la classe R15, lorsque les structures portantes sont en matériau de construction incombustible et que l'isolation thermique du toit (si celle-ci existe) est en matériau de construction incombustible ou presque incombustible et lorsque la rupture progressive a été empêchée.

4. SIMULATION D'INCENDIE

Les températures dans les différentes sections du bâtiment pendant les simulations d'incendie ont été calculées à l'aide du logiciel CFX (CFX-5.4.1) [1]. Le logiciel divise l'espace analysé en une grille, qui dans le cas présent était constituée d'environ 650 000 cellules de calcul. Les données saisies comprennent la géométrie de l'espace étudié, la condition initiale avant ignition, l'emplacement du feu et les changements ainsi que la progression du feu dans ce scénario. Dans ce programme, le feu est saisi comme la source de chaleur.

Sur la base des données initiales, le logiciel calcule les données pertinentes des conditions (températures, épaisseur de fumée, vitesses de courants etc.) dans chaque cellule de calcul dans chaque section de temps. Dans le cas présent, la section de temps est une seconde de feu. Les résultats de calcul peuvent être présentés plus clairement en animations 2D ou 3D ou en images 2D/3D de l'espace analysé, mais ils peuvent également être montrés séparément de chaque cellule à n'importe quel moment souhaité.

Les bâtiments analysés étant des entrepôts principalement de la classe P2, l'unité de temps appropriée à étudier est au maximum 30 minutes à partir du commencement de l'incendie, pour un bâtiment ordinaire et 60 minutes pour un bâtiment de classe P1. Le scénario d'incendie consiste en un incendie causé p.ex. par un chariot élévateur. L'incendie commence entre deux piles de bois adjacentes et se propage d'en bas vers le haut dans les extrémités de piles, ensuite dans les espaces entre les piles superposées et finalement sur les côtés et les

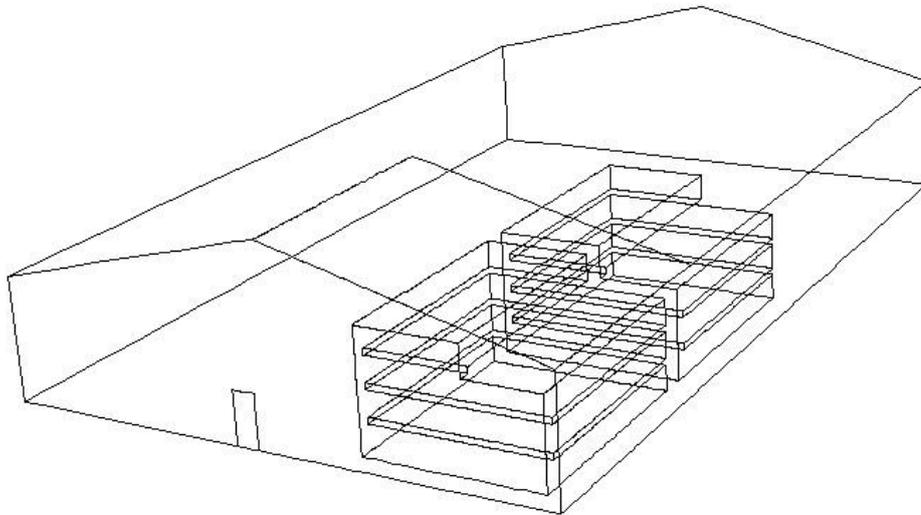
extrémités de piles en face du point d'ignition. Le feu continue à se propager aux autres piles à cause des gaz de combustion, des étincelles et de la radiation de la chaleur dans l'espace fermé ou à cause de la radiation et les étincelles dans le bâtiment Best-Hall. Dans le Best-hall, les gaz chauds brûlent une ouverture dans la couverture du bâtiment et s'échappent, permettant au bâtiment de garder une température beaucoup plus basse, comparée à un bâtiment fermé traditionnel.

La simulation d'incendie tient compte de la vitesse de propagation du feu dans le sens horizontal et vertical sur la surface du bois par rapport à la source du feu [2] et des vitesses de carbonisation par rapport à la source de [8], qui suggère que le feu se propage vers le haut sur la surface des piles de bois, jusqu'à la hauteur de 4 m dans environ 2 minutes après l'ignition. Le feu se propage horizontalement sur la surface supérieure d'une pile en environ 30 minutes, s'il n'y a pas de seconde couche de piles superposée. Au cas où une seconde couche de paquets est superposée sur la première, il reste un conduit horizontal entre les couches, ce qui permet au feu de se propager beaucoup plus rapidement. Cette propagation a été prise en compte dans la simulation de telle manière que toutes les surfaces intermédiaires des piles de paquets qui se sont enflammées en premier, sont entièrement en flammes environ 5 minutes après ignition.

5. RESULTATS

Les entrepôts ordinaires réfèrent aux entrepôts avec une structure de murs et de toit fixes, tandis qu'un bâtiment Best-hall réfère à un entrepôt couvert d'une toile PVC. La figure 1 présente un modèle simplifié du bâtiment simulé et des surfaces de bois étudiées dans le scénario d'incendie.

Besthalli puuvarasto, pituus 36,3 m, leveys 22,0 m, korkeus 4,9 m - 7,7 m

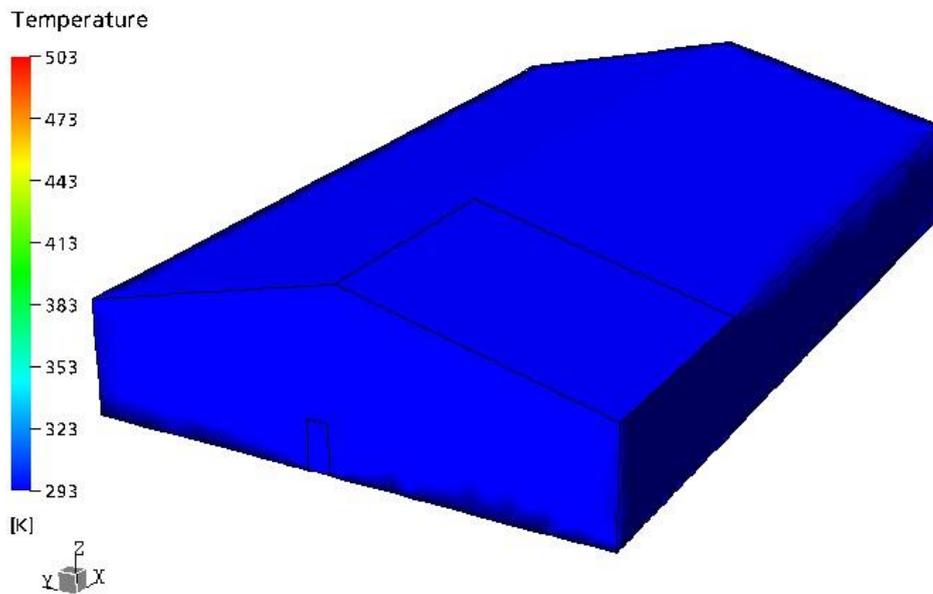


CFX

Figure 1. Modèle de l'entrepôt de bois de l'usine de rabotage de Nerkoo.
Longueur 36,3 m, largeur 22,0 m, hauteur 4,9 m – 7,7 m

Les deux piles de bois supposées s'enflammer en premier, sont au premier plan dans la figure 1. Le rectangle dans la couverture, d'une hauteur du pan de toit entier, au premier plan, représente la zone où la toile PVC est supposée fondre/se déchirer lorsque la première pile de bois prend feu. **Les résultats de simulation ont été présentés dans les figures 2–32. Les figures 2–11 réfèrent aux températures dans un bâtiment ordinaire et dans un bâtiment Best-hall 540 secondes à partir du début de l'incendie. Les figures 12–23 présentent les températures dans un bâtiment ordinaire pour un intervalle de 540–840 secondes et les figures 24–32 montrent les températures dans un bâtiment Best-hall pour un intervalle de 540–600 secondes.**

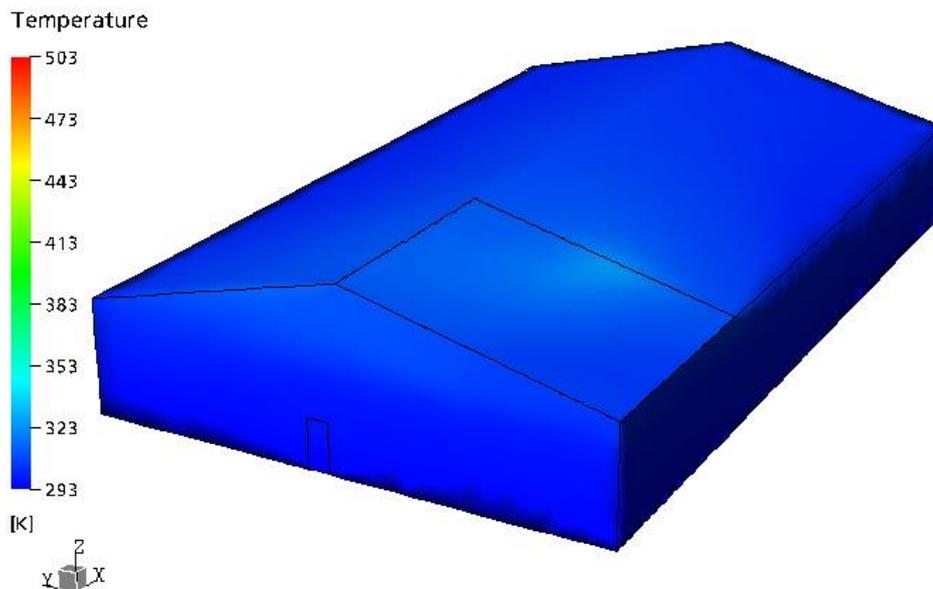
Lampotila kankaan alapinnassa 0 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 2. Températures sur la couverture au début de l'incendie.

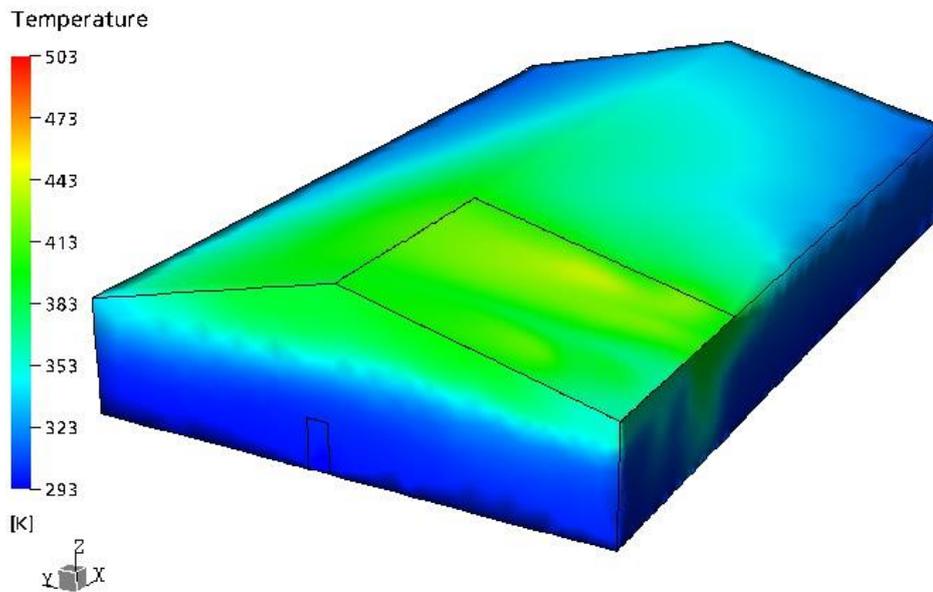
Lampotila kankaan alapinnassa 300 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 3. Températures sur la couverture 300 secondes après ignition.

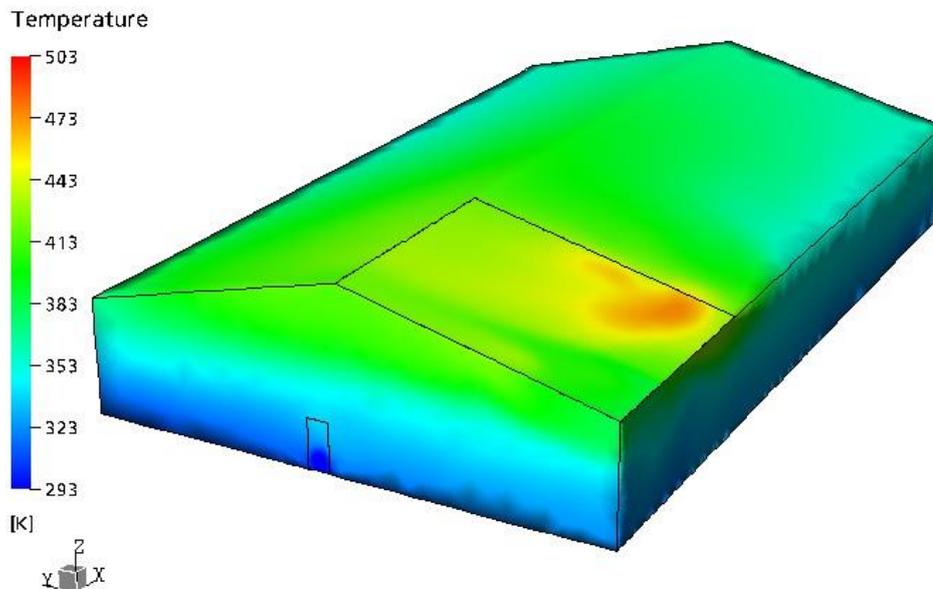
Lampotila kankaan alapinnassa 360 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 4. Températures sur la couverture 360 secondes après ignition.

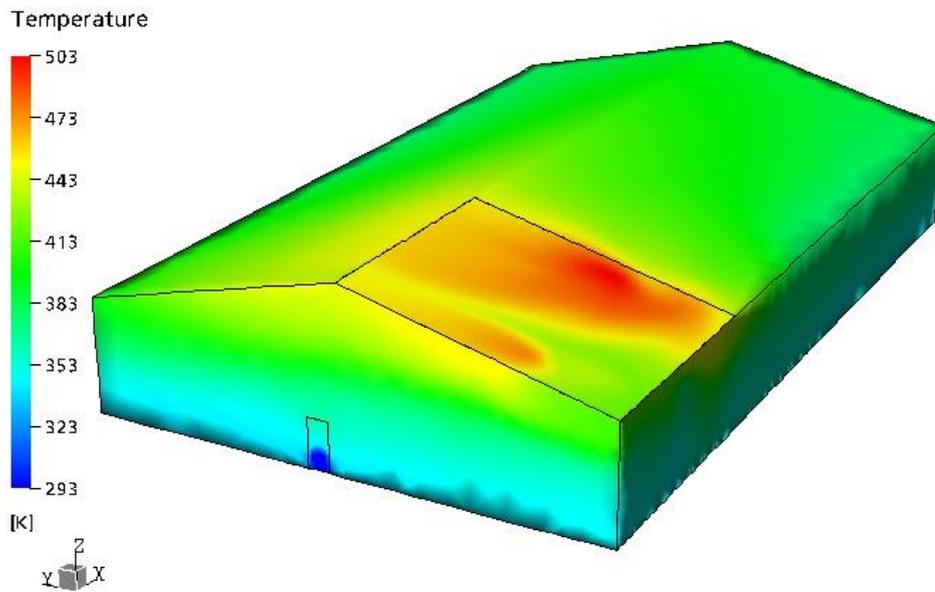
Lampotila kankaan alapinnassa 420 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 5. Températures sur la couverture 420 secondes après ignition.

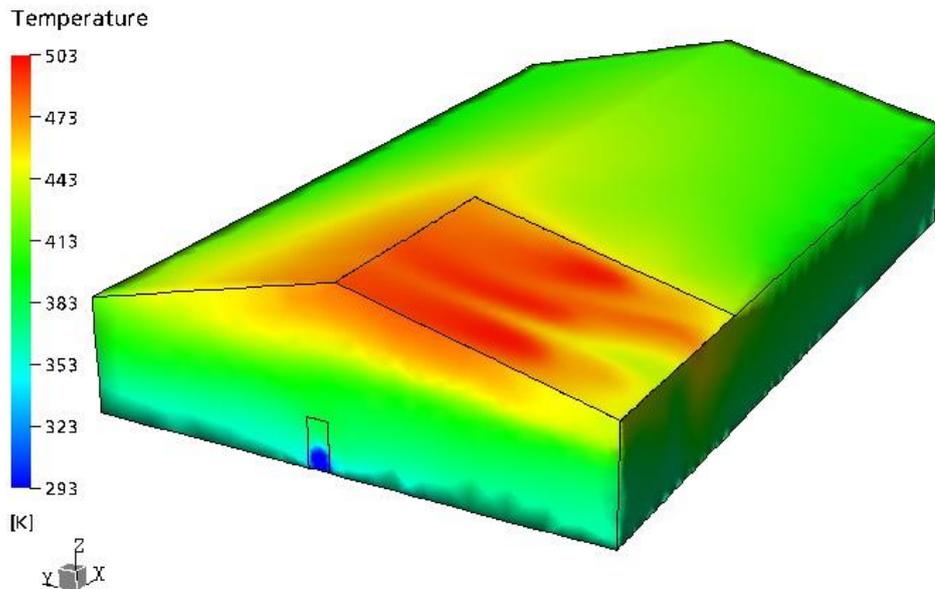
Lampotila kankaan alapinnassa 480 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 6. Températures sur la couverture 480 secondes après ignition.

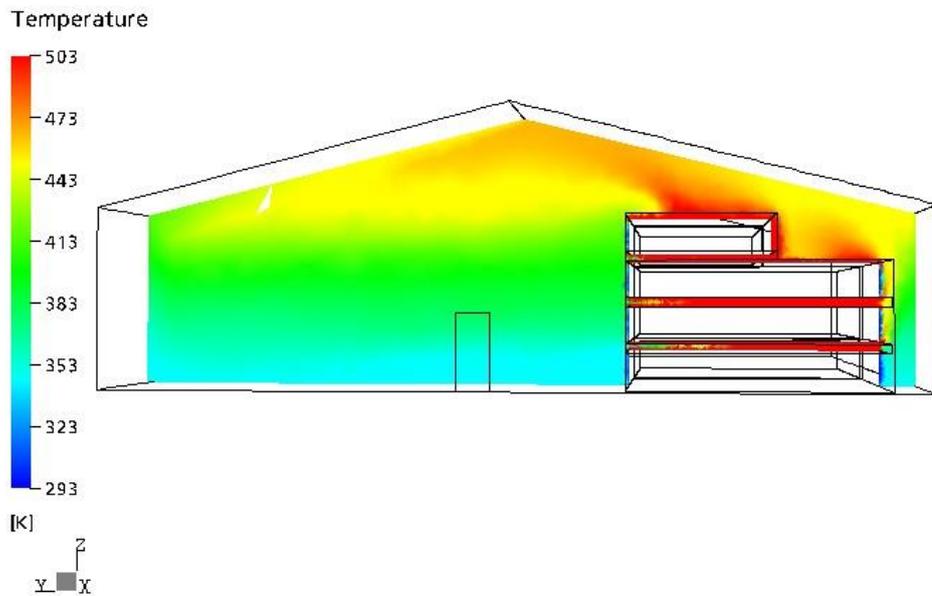
Lampotila kankaan alapinnassa 540 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 7. Températures sur la couverture 540 secondes après ignition.

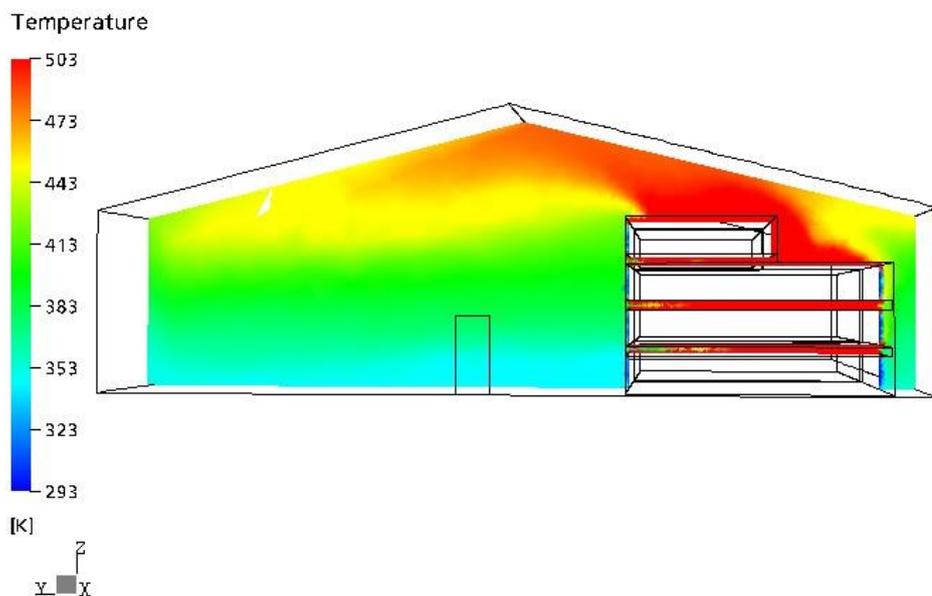
Lampotilat hallin poikkileikkauksessa 480 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 8. Températures dans la coupe transversale du bâtiment 480 secondes après ignition.

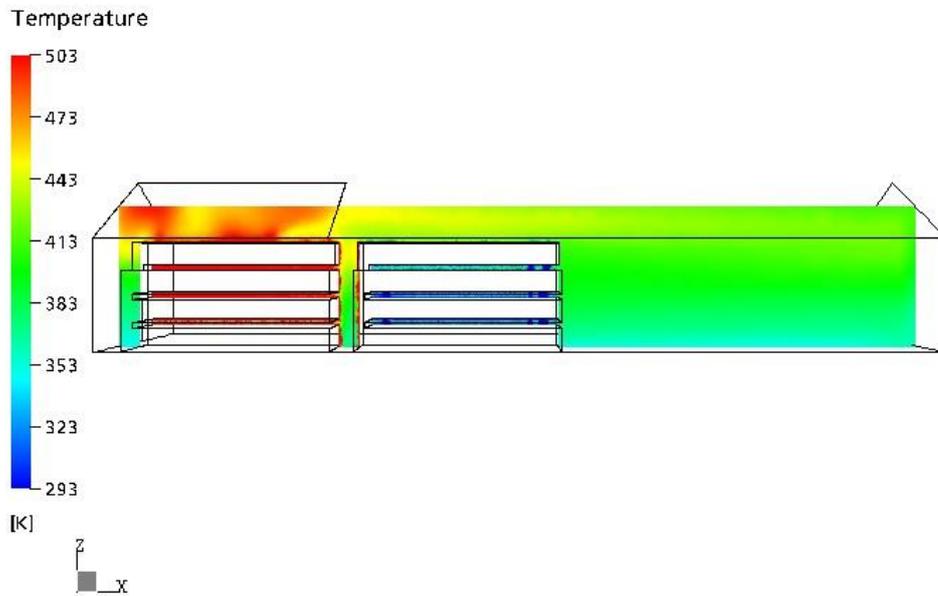
Lampotilat hallin poikkileikkauksessa 540 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 9. Températures dans la coupe transversale du bâtiment 540 secondes après ignition.

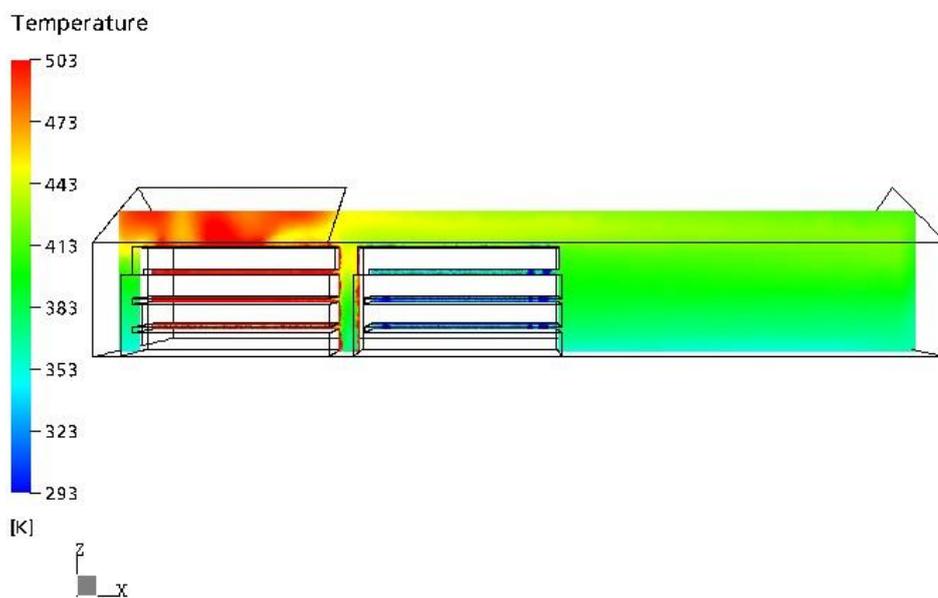
Lampotilat hallin pituusleikkauksessa 480 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 10. Températures dans la coupe longitudinale du bâtiment 480 secondes après ignition.

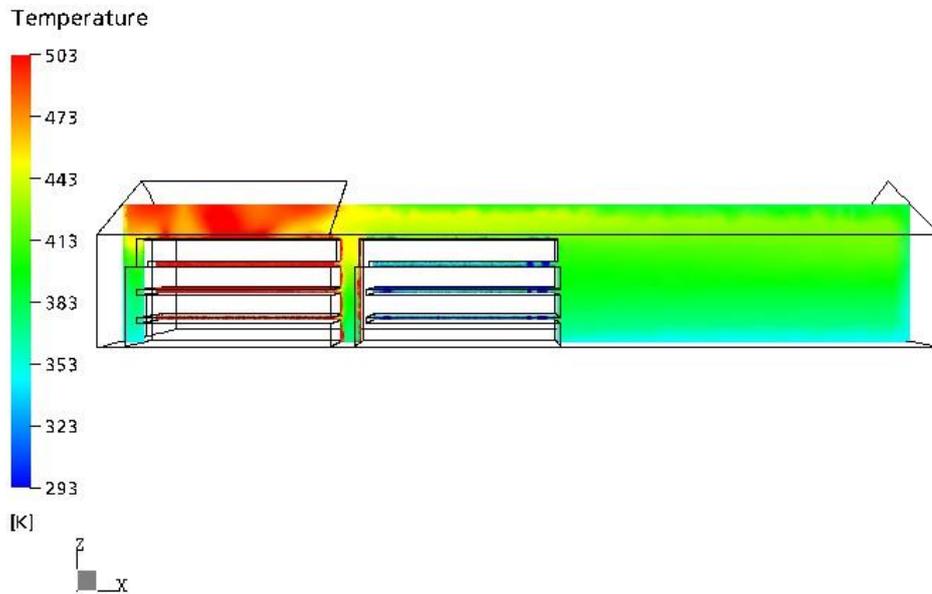
Lampotilat hallin pituusleikkauksessa 540 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 11. Températures dans la coupe longitudinale du bâtiment 540 secondes après ignition.

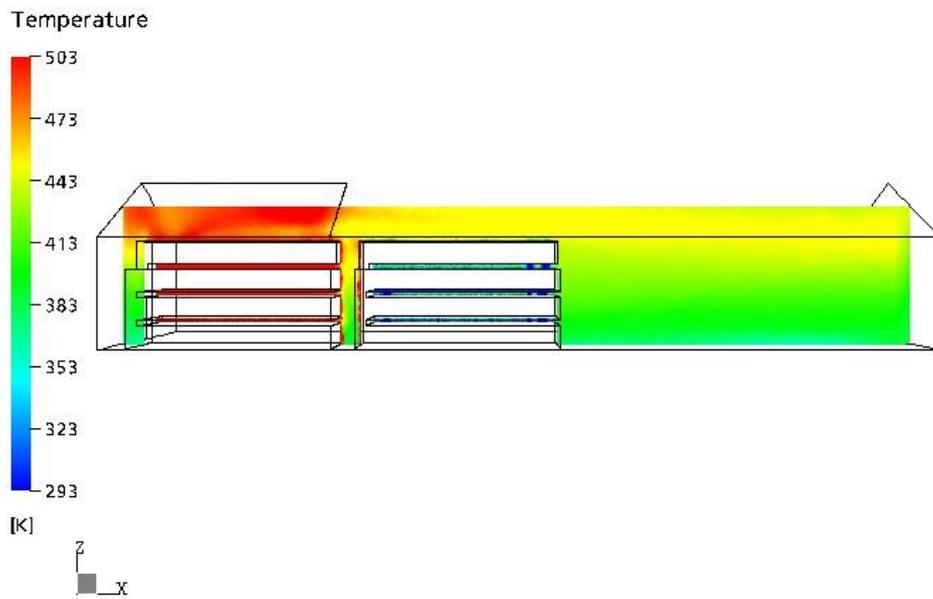
Lampotilat hallin pituusleikkauksessa 541 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 12. Températures dans un bâtiment "ordinaire" 541 secondes après ignition.

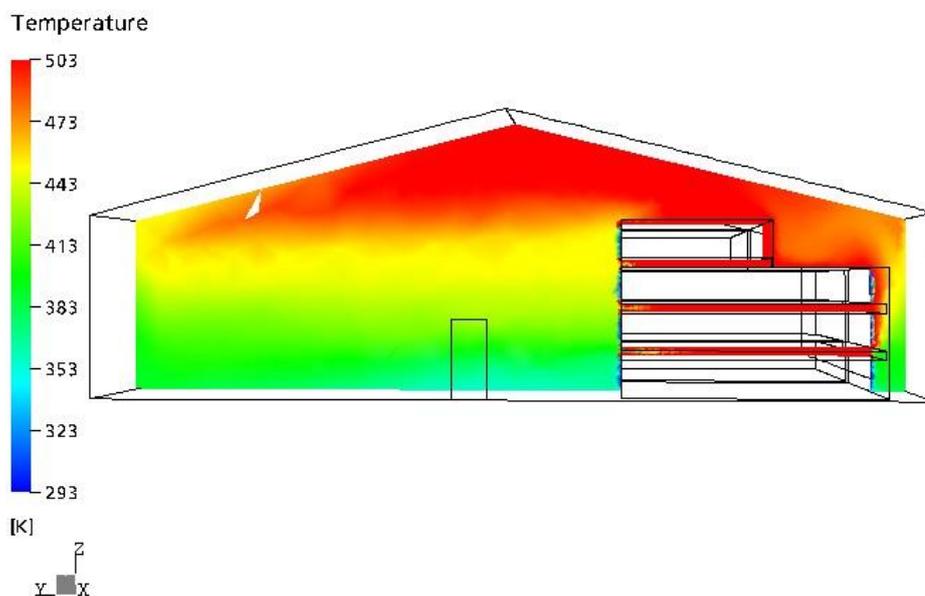
Lampotilat hallin pituusleikkauksessa 600 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 13. Températures dans un bâtiment "ordinaire" 600 secondes après ignition.

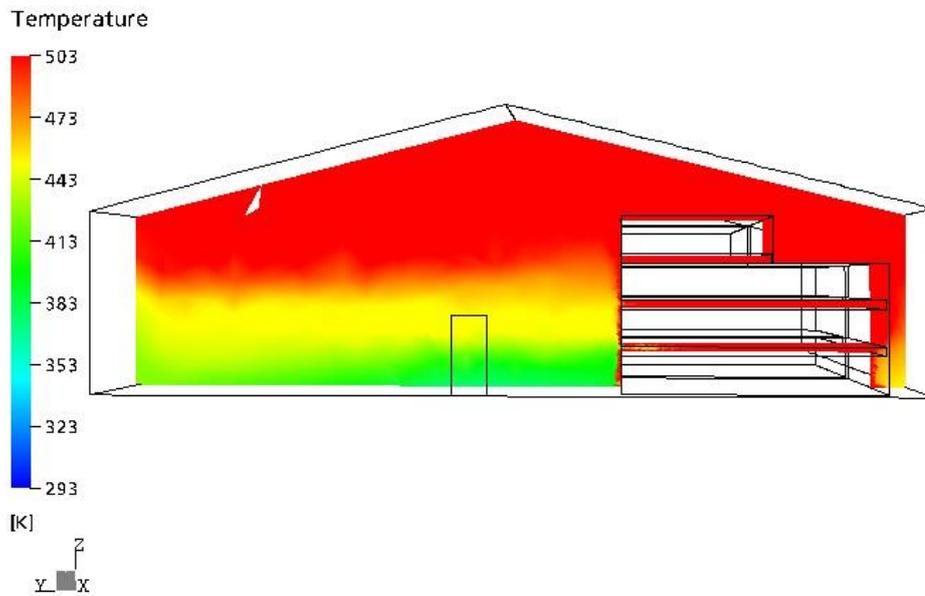
Lampotilat hallin poikkileikkauksessa 660 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 14. Températures dans un bâtiment "ordinaire" 660 secondes après ignition.

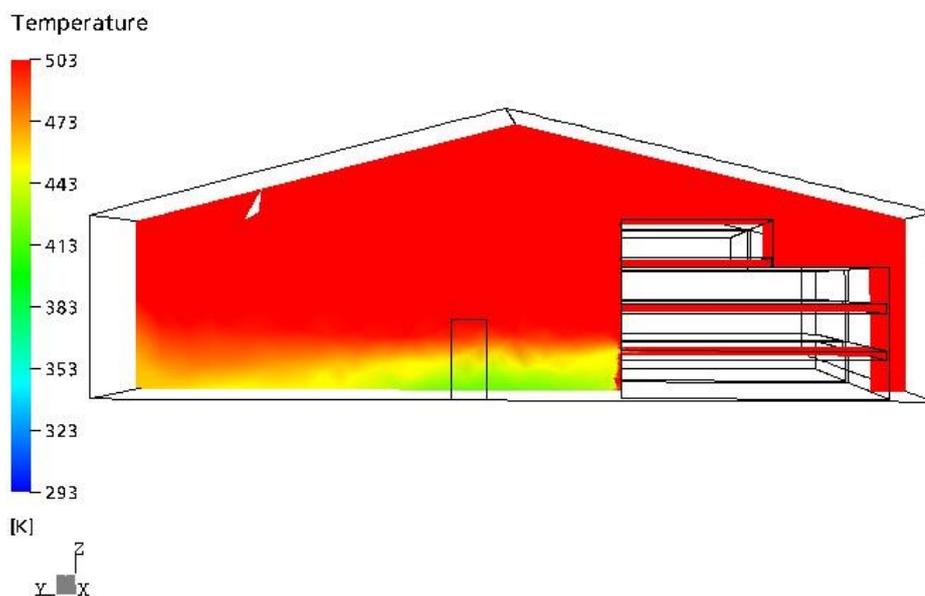
Lampotilat hallin poikkileikkauksessa 720 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 15. Températures dans un bâtiment "ordinaire" 720 secondes après ignition.

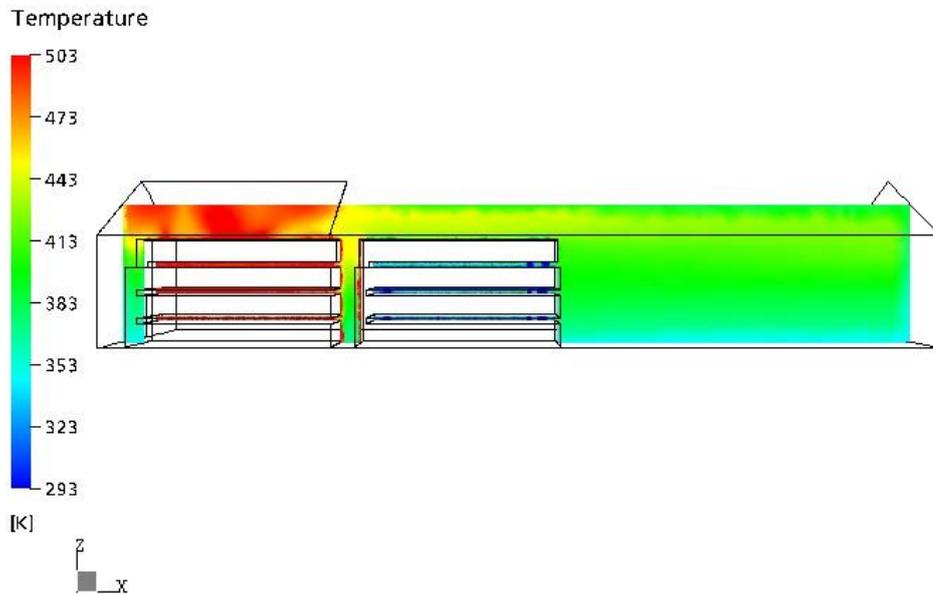
Lampotilat hallin poikkileikkauksessa 780 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 16. Températures dans un bâtiment "ordinaire" 780 secondes après ignition.

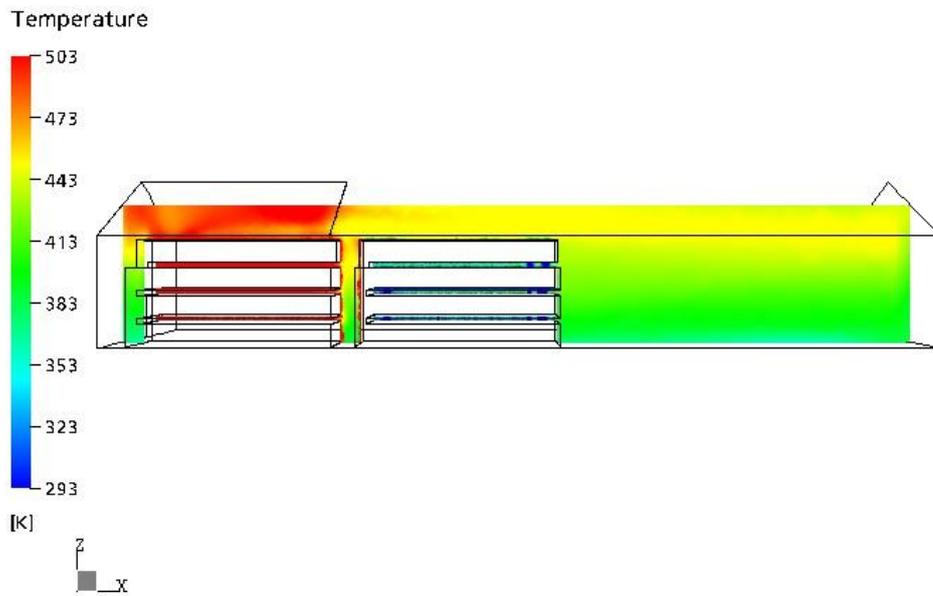
Lampotilat hallin pituusleikkauksessa 541 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 17. Températures dans un bâtiment "ordinaire" 540 secondes après ignition.

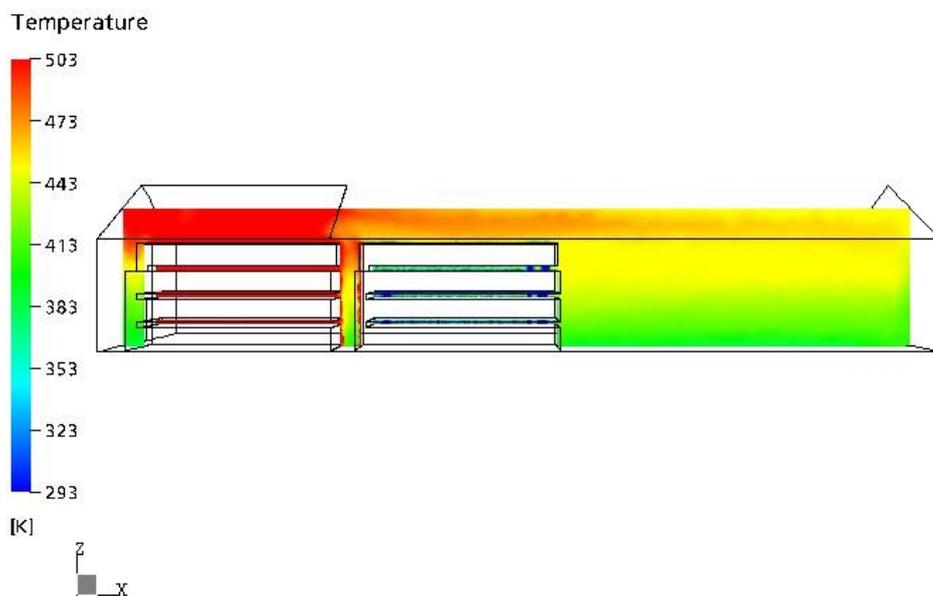
Lampotilat hallin pituusleikkauksessa 600 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 18. Températures dans un bâtiment "ordinaire" 600 secondes après ignition.

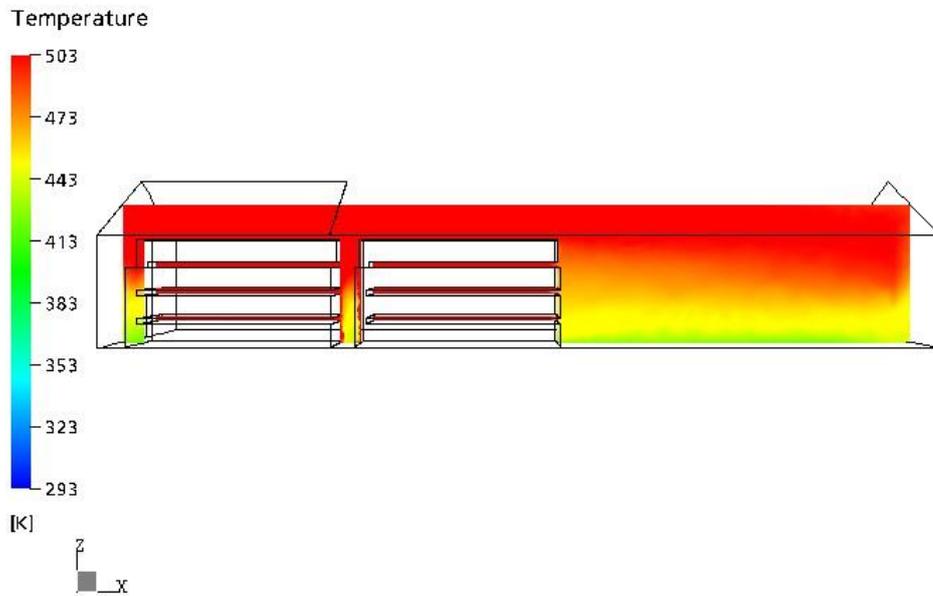
Lampotilat hallin pituusleikkauksessa 660 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 19. Températures dans un bâtiment "ordinaire" 660 secondes après ignition.

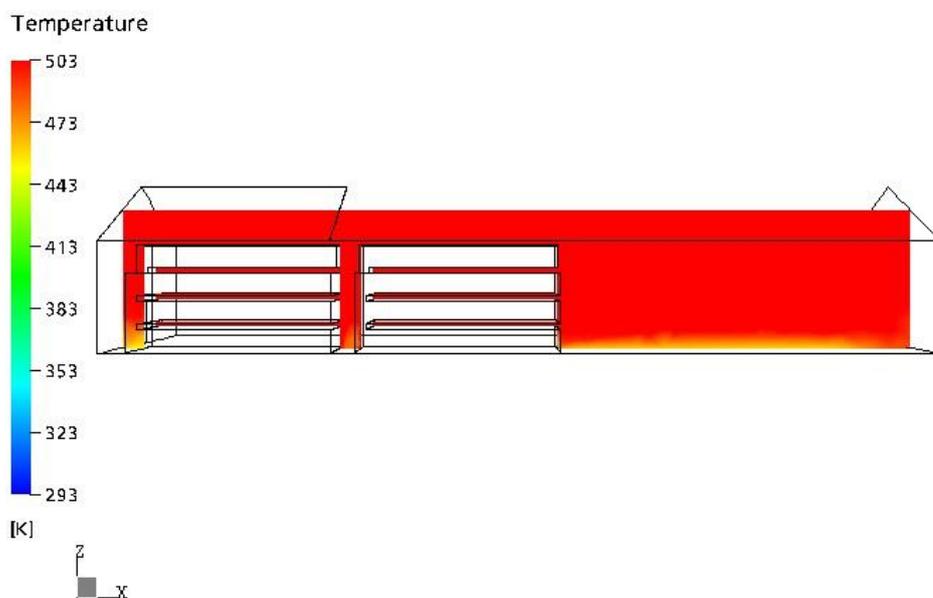
Lampotilat hallin pituusleikkauksessa 720 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 20. Températures dans un bâtiment "ordinaire" 720 secondes après ignition.

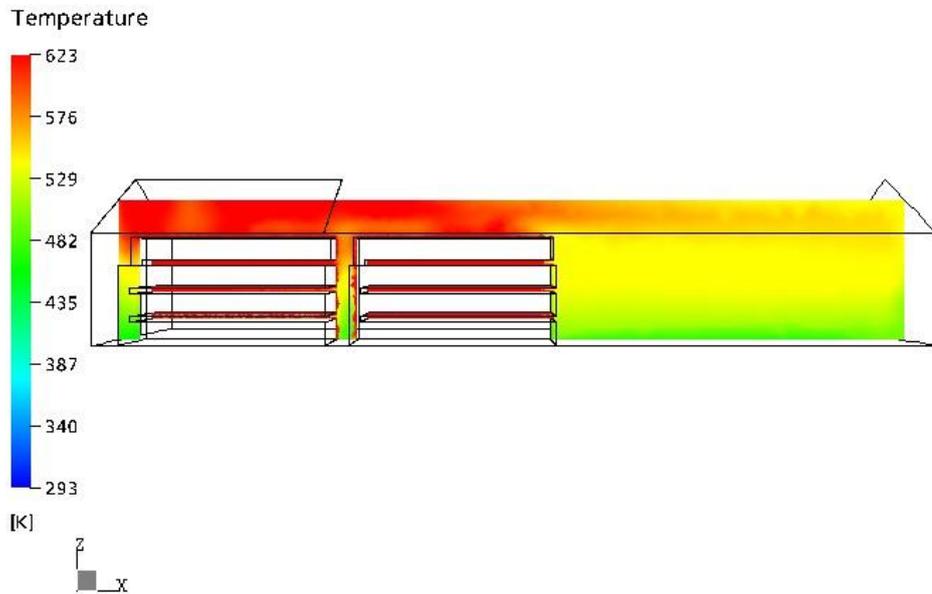
Lampotilat hallin pituusleikkauksessa 780 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 21. Températures dans un bâtiment "ordinaire" 780 secondes après ignition.

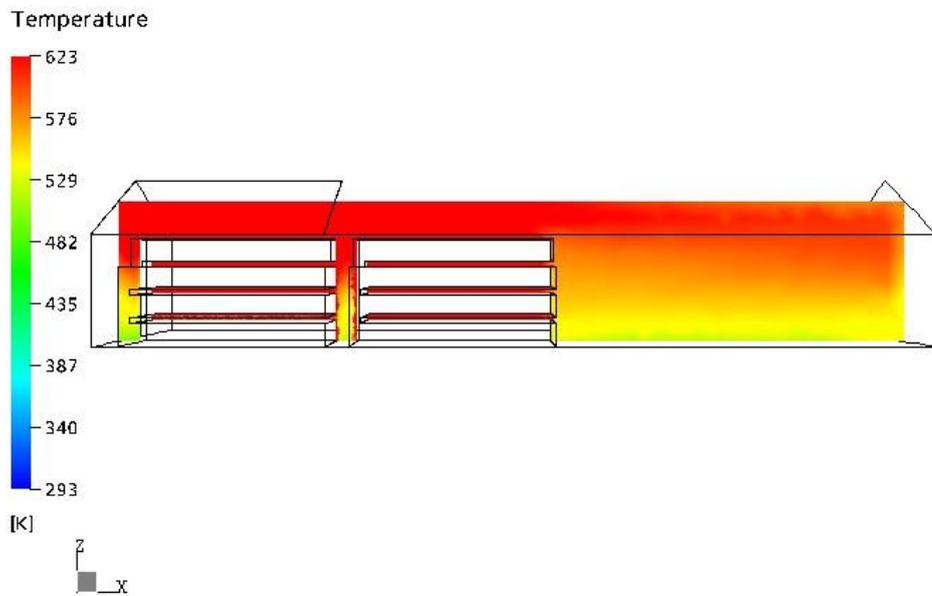
* Lämpötilat besthallin pituusleikkauksessa 780 s kuluttua syttymisestä * HUOM SKAALA



CFX

Figure 22. Températures dans un bâtiment "ordinaire" 780 secondes après ignition.

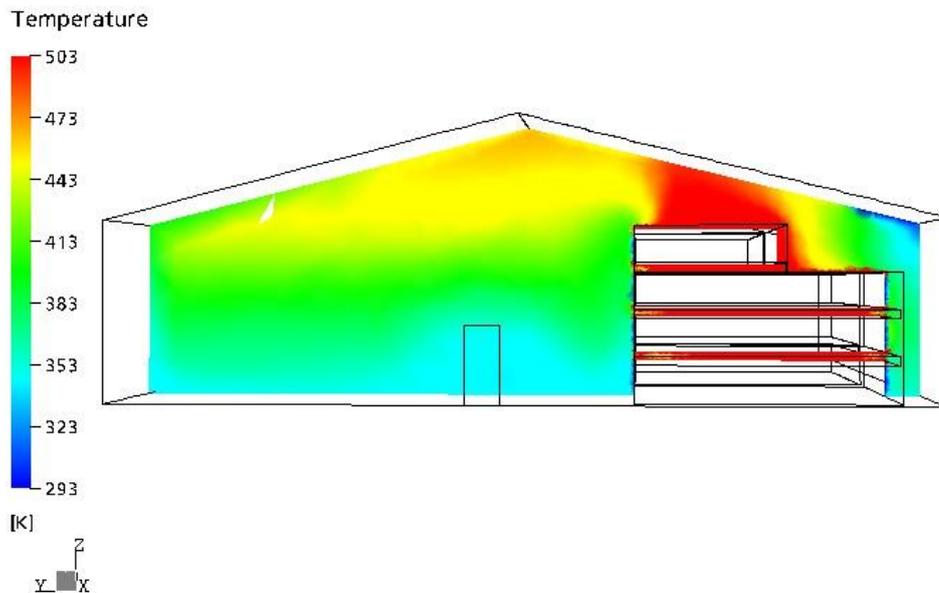
* Lampotilat besthallin pituusleikkauksessa 840 s kuluttua syttymisestä * HUOM SKAALA



CFX

Figure 23. Températures dans bâtiment ordinaire 840 secondes après ignition.

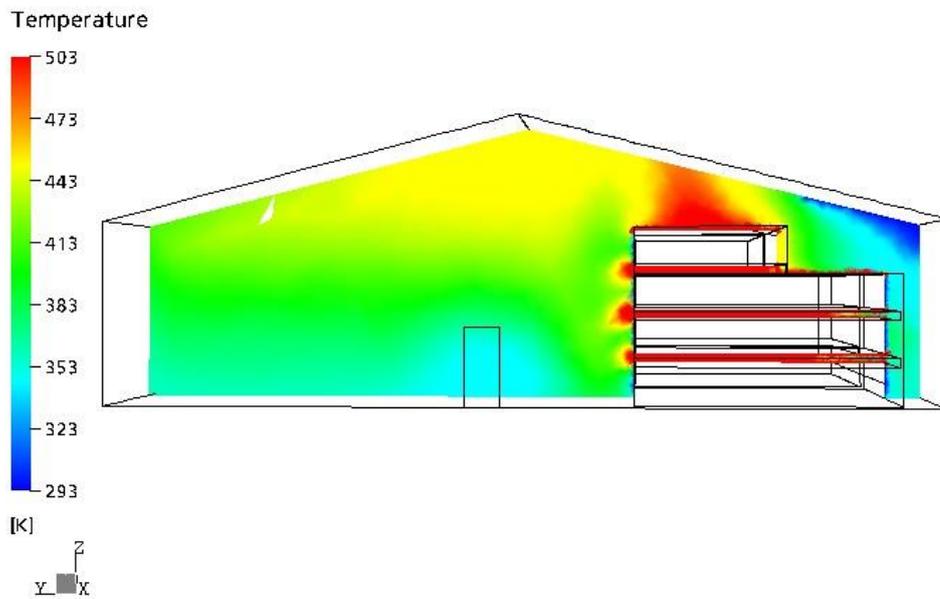
Lampotilat besthallin poikkileikkauksessa 541 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 24. Températures dans la coupe transversale d'un Best-Hall 541 seconds après ignition.

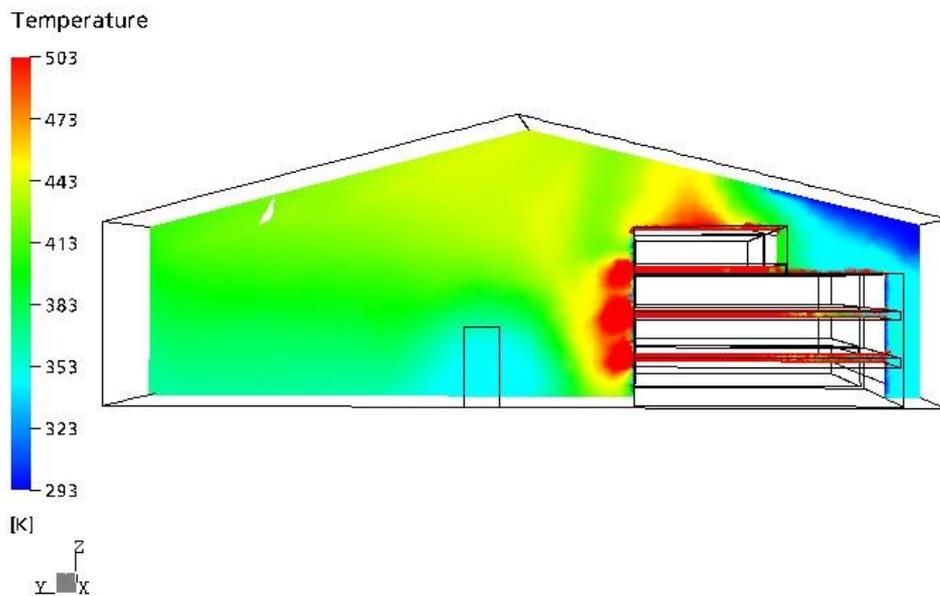
Lämpötilat besthallin poikkileikkauksessa 542 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 25. Températures dans la coupe transversale d'un Best-hall 542 secondes après ignition.

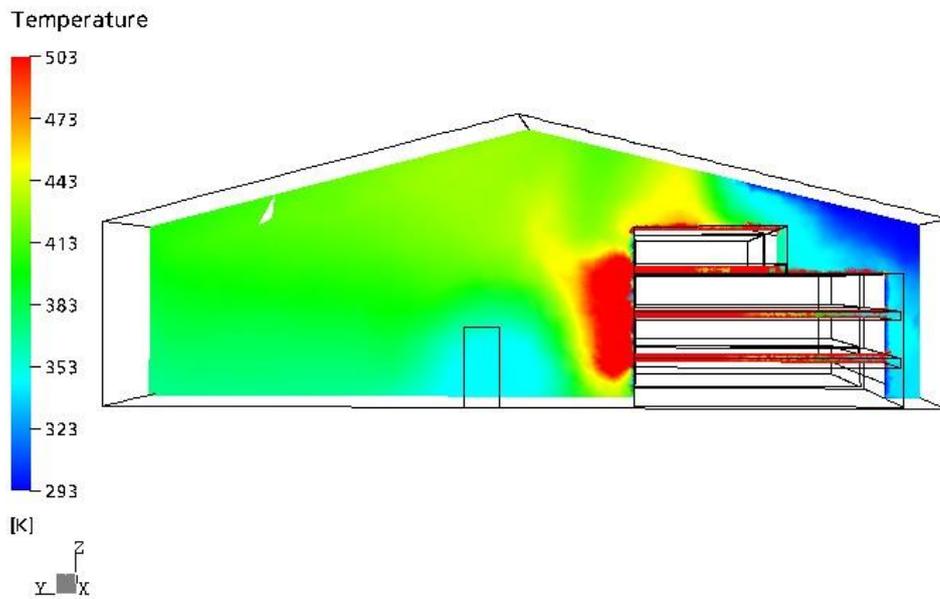
Lämpötilat besthallin poikkileikkauksessa 543 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 26. Températures dans la coupe transversale d'un Best-hall 543 secondes après ignition.

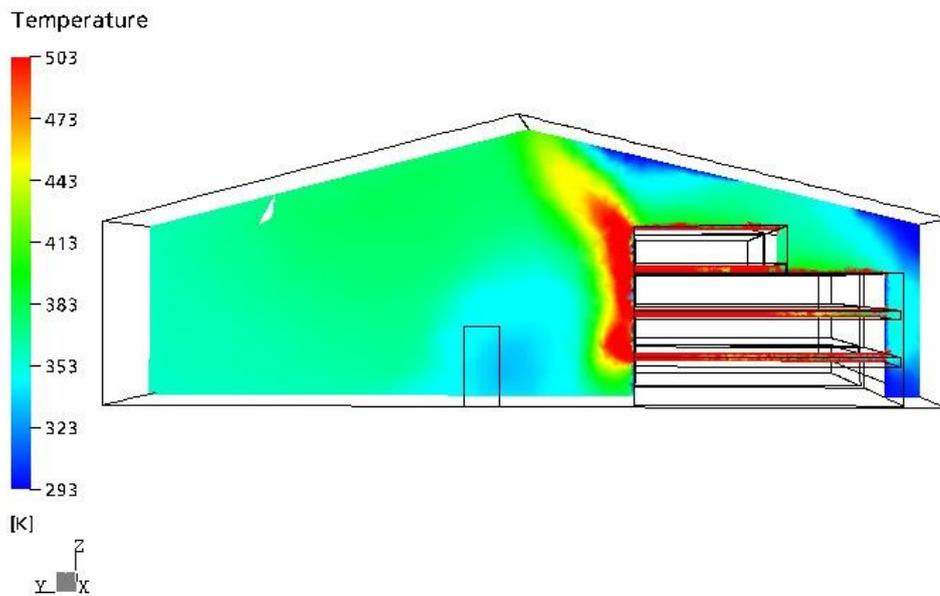
Lampotilat besthallin poikkileikkauksessa 544 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 27. Températures dans la coupe transversale d'un Best-hall 544 secondes après ignition.

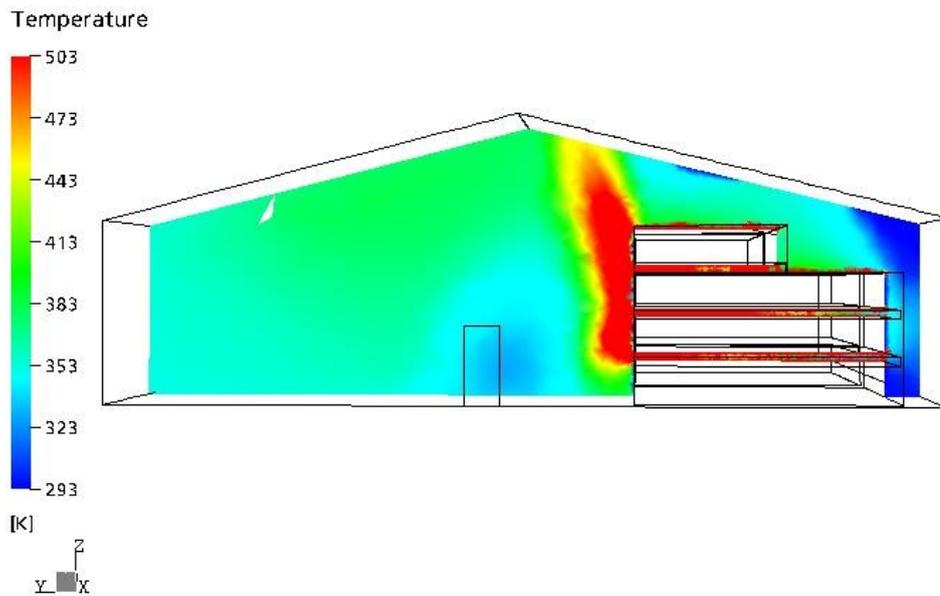
Lampotilat besthallin poikkileikkauksessa 575 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 28. Températures dans une coupe transversale d'un Best-hall 575 secondes après ignition.

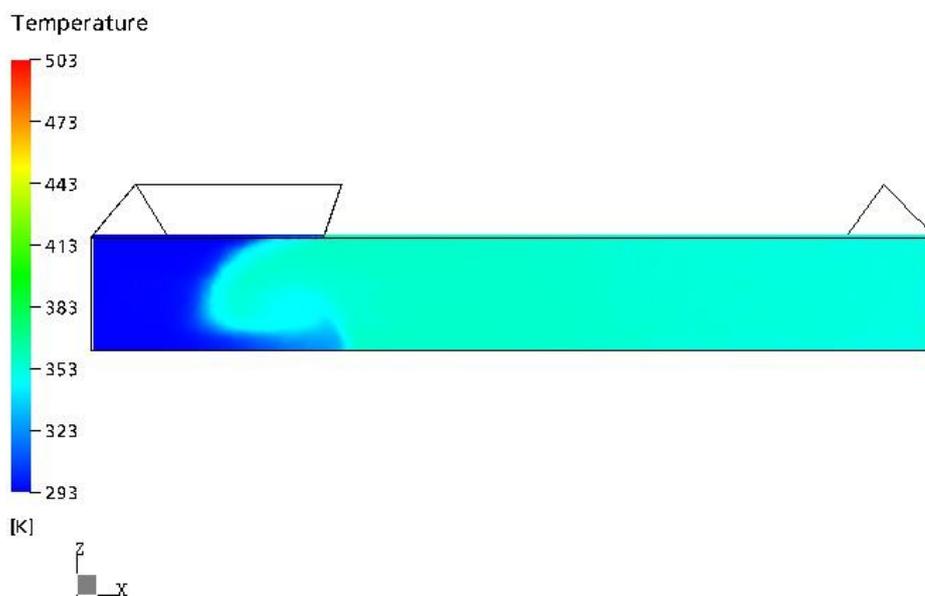
Lampotilat besthallin poikkileikkauksessa 600 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 29. Températures dans la coupe transversale d'un Best-hall 600 secondes après ignition.

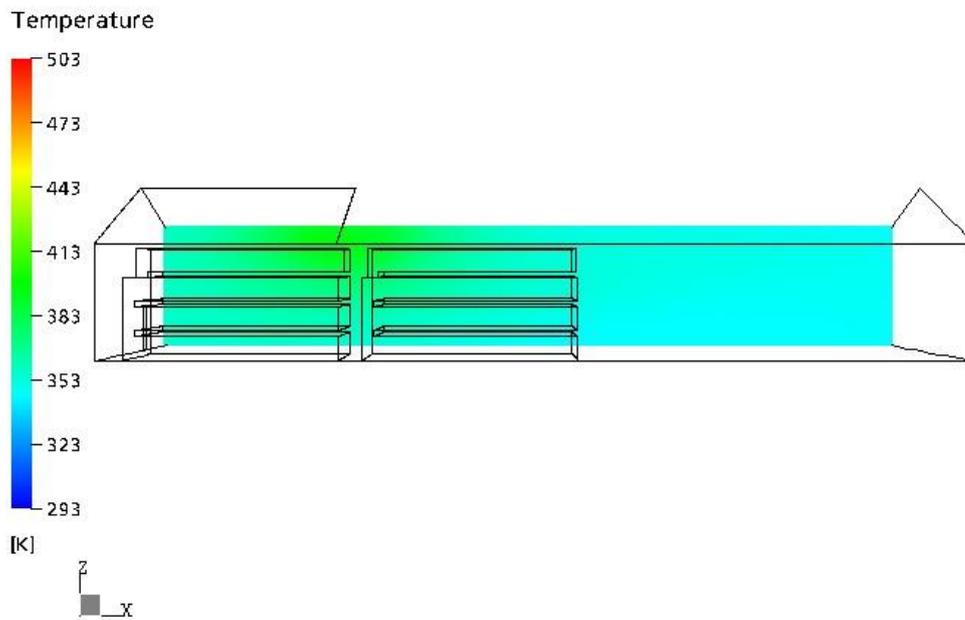
Lampotilat besthallin pituusleikkauksessa 0,5m 600 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 30. Températures près du mur extérieur d'un Best-hall 600 secondes après ignition.

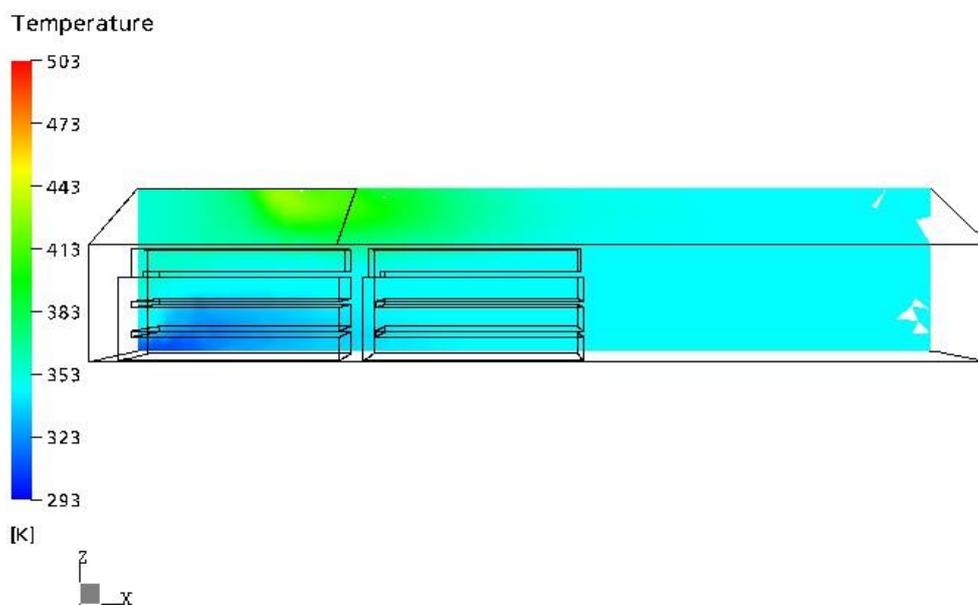
Lampotilat besthallin pituusleikkauksessa 17,5m 600 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 31. Températures près du mur extérieur d'un Best-hall 600 secondes après ignition.

Lampotilat besthallin pituusleikkauksessa 11,0m 600 s kuluttua syttymisestä



CFX

Figure 32. Températures dans la partie centrale d'un Best-hall 600 secondes après ignition.

Les figures 1–11 montrent que la température générale dans le bâtiment pendant les premières 9 minutes après ignition est en moyenne 130 °C au maximum, aussi bien dans un bâtiment traditionnel que dans un bâtiment Best-hall. La température de la couche de fumée au-dessus du foyer d'incendie, sur la surface inférieure du toit/couverture dépasse les 200 °C au plus tard 9 minutes après ignition.

Les figures 12–23 montrent que la température générale et les températures maximales montent assez rapidement dans le bâtiment ordinaire et le bâtiment Best-hall. Environ 14 minutes après ignition les températures dans la partie la plus chaude s'élèvent au-dessus de 400 °C dans presque toute la partie supérieure du bâtiment.

Les figures 24–32 montrent que dû à l'ouverture causée par la fonte/déchirure de la couverture, la température générale et les températures dans les couches de fumée baissent considérablement jusqu'à environ 100 °C en seulement 40 secondes, lorsque les gaz les plus chauds peuvent s'échapper par l'ouverture et de plus, l'air frais de l'extérieur entre par l'ouverture à la place (la température d'air à l'extérieur est supposé être +20 °C).

Comme le logiciel CFX donne des résultats légèrement sous-estimés pour les températures proches des flammes (à une distance de 0 à 3 mètres), les températures des gaz de combustion à la hauteur des structures portantes étaient également analysées à l'aide des méthodes de calcul basés sur la dynamique de l'incendie [2]. Les facteurs observés sont le feu sur la pile de bois et son influence sur les températures des gaz à la hauteur des structures d'acier ainsi que la température des gaz au niveau des structures d'acier causée par le feu sur le côté latéral de la pile. Les résultats des calculs sont présentés dans l'annexe 1. Les résultats comprennent une matrice de la température de gaz agissant sur l'acier et une matrice des températures de l'acier, dans laquelle la coupe transversale de l'acier est supposée être de la taille PL 30*40*3, qui est probablement plus faible que celle du matériau réellement utilisé, mais qui donne une certaine indication. Les températures sont calculées à 1,5 mètres et à 1 mètre au-dessus de la surface du bois. Pour la comparaison, les températures de l'acier considérablement plus robuste étaient également calculées à la hauteur d'un mètre.

Les résultats dans l'annexe 1 indiquent le fait que la température de l'acier monte à 480 °C au maximum, si la distance de la surface supérieure du bois aux structures portantes est au minimum 1,5 mètres, la température critique étant environ 520 °C. Lorsque la distance entre la surface du bois et l'acier est d'un mètre, la température de l'acier monte à environ 590 °C, l'épaisseur du matériau étant de 3 mm, autrement dit, la température critique est dépassée. Lorsque le profil est augmenté à PL 100*100*12, la température de l'acier monte à 510 °C au maximum. Les résultats de l'annexe 1 montrent encore que si la distance de hauteur entre la surface du bois et la structure d'acier est d'un mètre, la température de l'acier atteint environ 500 °C, 900 secondes (15 minutes) après ignition, c à d. 96

pour cent of de la température critique. Ainsi le facteur de sécurité est seulement 1.04, qui n'est pas suffisant.

6. CONCLUSIONS

6.1. ENTREPÔT ORDINAIRE

Les résultats présentés dans les figures 12–23 permettent de conclure que lorsque la température dans la partie supérieure du bâtiment (où se trouvent les paquets supérieurs) dépasse les 400 °C environ 14 minutes après ignition, les paquets de dessus prennent feu, dû à la température élevée, au plus tard environ 15 minutes après ignition. Après cela l'incendie augmente très vite jusqu'à l'explosion et la température s'élève probablement jusqu'à environ 1000 °C. Dans les températures élevées causées par le feu, la capacité portante des structures en acier du bâtiment ordinaire est, sans une protection anti-incendie, insuffisante pour remplir les conditions des normes R30 et R60. Les résultats de l'annexe 1 montrent que, si la distance entre l'acier portant et la surface du bois au-dessus est d'un mètre, la température de l'acier à 15 minutes est trop près de la température critique (la différence étant seulement environ 4%) et pour cette raison la condition de R15 n'est pas remplie à cette différence de hauteur. Si la différence de hauteur est de 1,5 mètres, la condition de R15 à peine remplie, mais le bâtiment s'enflamme probablement peu après cela.

6.2. ENTREPÔT DE TYPE BEST-HALL

Les résultats présentés dans les figures 24–32 permettent de voir que les gaz à température élevés s'échappent en quelques secondes par l'ouverture qui dans le cas présent est assez grande et qui se forme dans le toit dû à la fusion/déchirure de la couverture du bâtiment Best-hall, après quoi les gaz de combustion à température élevée s'échappent directement par l'ouverture et sont remplacés par l'air frais qui refroidit la température générale dans le bâtiment. Ensuite le feu se propage principalement par radiation de chaleur aux autres piles de bois, augmentant la fusion ou la déchirure de la couverture. Ainsi la situation reste identique à celle présentée dans les figures 24–32 quant aux températures générales et maximales ayant un effet sur les structures d'acier individuelles.

Quant aux structures du bâtiment, il a été constaté que lorsqu'une ouverture se forme dans la couverture PVC et que les températures générales se maintiennent à un niveau sûr et bas, à environ 100 °C (la température critique pour les profilés d'acier portants utilisés étant typiquement entre 520°C–700 °C), la température générale ne pose aucun risque à la capacité portante des structures.

Sur la base des calculs de la température de l'acier, il a été constaté que si la différence de hauteur entre la surface du bois et les structures d'acier est au minimum d'un mètre, la coupe transversale doit être considérablement augmentée et même le profilé de PL 100*100*12 mm proposé n'est pas suffisant sans protec-

tion anti-incendie du point de vue du facteur de sécurité requis. Si la différence entre la surface du bois et les structures d'acier est augmentée au moins à 1,5 mètre, les températures de gaz agissant sur les structures d'acier tombent à presque 10% au-dessous de la température critique, dans lequel cas la température de l'acier ne peut atteindre le point critique. Les alternatives sont, par conséquent, soit augmenter la distance minimum entre la surface du bois et les structures d'acier 1,5 mètre, soit ajouter une protection anti-incendie pour l'acier, afin d'atteindre la conformité selon la classe R30 (P2) ou la classe R60 (P1), en fonction du cas précis. Dans ce calcul également, la propagation du feu d'un paquet de bois à l'autre à cause de la radiation de chaleur a été prise en compte et la propagation n'a pas d'effet sur les températures maximales d'une structure d'acier individuelle, présentées dans l'annexe 1.

Sur la base des calculs, l'entrepôt de bois avec une couverture en toile PVC est conforme aux conditions de R60, R30 et R15 pour les classes P1 et P2 lorsque la différence de hauteur de la surface supérieure du bois stocké à la structure d'acier portante en dessus est au minimum 1,5 mètres.

En plus de l'entrepôt de bois à l'usine de rabotage de Nerko, cette analyse est applicable aux autres entrepôts de bois où le bois stocké et le stockage sont similaires à ce qui a été décrit dans le paragraphe 1. Quand il s'agit d'un bâtiment Best-Hall, ses dimensions ne sont pas pertinentes, puisqu'une ouverture assez grande pour servir de conduit de ventilation pour la fumée, va toujours se former dans la couverture, avant que la température des structures portantes s'approchent du point critique ou avant que la couche de fumée chaude, qui s'accumule dans la partie haute du bâtiment, ne menace d'enflammer les autres piles de bois. Tant que les structures d'acier ne sont pas trop près des surfaces enflammées, le bâtiment peut être plus petit ou bien beaucoup plus grand que l'entrepôt de Nerko.

7. REFERENCES

- [1] Paloposki, T. 2000 Urheiluhallin teräsrakenteiden lämpeneminen tulipalossa. Suunnitteluohje v. 2.5 (luonnos). 44 s. VTT Rakennustekniikka. Espoo.
- [2] Drysdale, D. 1998. An Introduction to Fire Dynamics. Second Edition. John Wiley & Sons Ltd. 451 s. **ISBN 0-471-98290-8**
- [3] AEA Technology plc. 2000. CFX 5.4.1. CFX International. Didcot. United Kingdom.
- [4] NKB Committee and Work Reports 1994:07 E. Performance Requirements for Fire Safety and Technical Guide for Ventilation by Calculation. Nordic

Cimmittee on Building Regulations, NKB. Fire Safety Committee. Monila Oy. Helsinki. 1995. 77 s. **ISBN 051-53-0421-0**

- [5] Lehtimäki, S.1997. Palotekninen erityissuunnittelu vyöhykemalleja käyttäen. Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö. Padasjoen Sanomat Oy. 82 s. **ISBN 951-797-043-9**
- [6] Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.1999. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Osa E1. Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 1997. 4. painos. 30 s. Oy Edita Ab. Helsinki. **ISBN 051-37-2267-8**
- [7] Orrainen, M. 1999. Urheiluhallien rakenteellisen paloturvallisuuden tarkistettut periaatteet. Pelastustieto 5/99. ss. 22-24.
- [8] Ympäristöministeriö. 1998. Ympäristöopas 39. Rakennusten paloturvallisuus & paloturvallisuus korjausrakentamisessa. 160 s. 3. painos. Oy Edita Ab. Helsinki. **ISBN 952-11-0264-0**

Vantaa, le 4 juin 2002

**PALOTEKNINEN INSINÖÖRITOIMISTO
MARKKU KAURIALA Oy**

Kalervo Korpela
Chef de projets
Maîtrise ès Sciences (ingénierie), techniques de protection anti-incendie et de sécurité