

Latvijas Lauksaimniecības universitāte  
Lauku inženieru fakultāte

## Būvfizikas speckurss

LBN 002-01 'Ēku norobežojošo  
konstrukciju siltumtehnika' izpēte.

Ūdens tvaika difūzijas pretestība

Izstrādāja

**Sandris Liepiņš** .....

# Jelgava 2011

## Saturs.

Kopsavilkums.....	3
Ievads.....	3
Materiāli un metodes.....	4
Rezultāti un Diskusija.....	8
Secinājumi.....	12
Izmantotā literatūra.....	13

## Kopsavilkums.

Ārsienas sastāv no vairākiem materiāliem un to slāņu kombinācijām, tādēļ pastāv noteikumi un likumi, kas nosaka gandrīz visus parametrus šādām konstrukcijām. LBN 002-01 'Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika' daļā 5.25 ir noteikts: 'Ja būvelements sastāv no dažādiem slāņiem, tā siltajā pusē esošo slāņu kopējais ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents  $S_d$  ir vismaz piecas reizes lielāks par to, kas atrodas aukstajā pusē.' Ekspertu viedoklis: 'Ja būvelements sastāv no dažādiem slāņiem, tā siltajā pusē esošo slāņu kopējam ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalentam  $S_d$  ir jābūt lielākam par to, kas atrodas aukstajā pusē.' Šajā referātā, lietojot īpašu datorprogrammu, tiek grafiski attēlots, vai šie likumi ir patiesi vai aplami. Tika izvēlētas ārsienu konstrukcijas, kas sastāv no vairākām materiālu kombinācijām, kas veidotas no stiegrota tērauda, gāzbetona (poraina betona) un divu veidu izolācijas materiāliem – putu polistirola un akmens vates. Šajā izpētē tika pierādīts, ka tikai nepareiza slāņu sakārtojuma gadījumā, likumi, kas pēfīti LBN 002-01 atbilst patiesībai, turklāt šie noteikumi tika pierādīti kā tikai ieteikumi un praktiskajā pielietojumā tie nedarbojas.

Atslēgas vārdi: *ēku norobežojošās konstrukcijas, siltumtehnika, tvaika pretestība.*

## Ievads.

Latvijā aizvien tiek lietoti nacionālie standarti (Latvijas būvnormatīvi). Piemēram, LBN 002-01 nosaka ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehniku, bet, termiskajai un mitruma analīzei tiek lietots starptautisks standarts LVS EN ISO 13788: 2001 'Ēku būvmateriālu un būvelementu higrotermiskās īpašības. Iekšējās virsmas temperatūra, lai izvairītos no kritiskā virsmas mitruma un iekšējās kondensācijas. Aprēķina metodes'. Šāds princips ir tāpēc, ka mūsu nacionālie standarti ir nepilnīgi izstrādāti un ISO ir jaunums mūsu būvinžinieriem. Tas nozīmē, ka mūsu valsts pielietojumā pielāgojas ISO standartiem, nelietojot vairs LBN.

LBN 002-01 'Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika' ir nepilnīgi norādīti ieteikumi būvmateriālu secībai – kādam jābūt slāņu izkārtojumam, lai izveidotu pareizu konstrukciju. Šajā būvnormatīvā ir uzsvērts, piemēram, daļā 5.25 ir noteikts: 'Ja būvelements sastāv no dažādiem slāņiem, tā siltajā pusē esošo slāņu kopējais ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents  $S_d$  ir vismaz piecas reizes lielāks par to, kas atrodas aukstajā pusē.' Taču ekspertu viedoklis ir: 'Ja būvelements sastāv no dažādiem slāņiem, tā

siltajā pusē esošo slāņu kopējam ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalentam  $S_d$  ir jābūt lielākam par to, kas atrodas aukstajā pusē.’ Daļā 5.31 ir rakstīts: ‘Atkāpes no punkta 5.25 ir pieļaujamas, ja tās ir pamatotas ar aprēķinu, kas apliecina, vai konstrukcija ir droša pret ūdens kondensāta uzkrāšanos’, turklāt piebilsts, ka šādām konstrukcijām aprēķins jāveic visam gadam.

Šajā referātā tika analizēti dažādi izkārtoti konstrukciju slāņi. Lai parādītu, vai LBN 002-01 prasības sadaļās 5.25 un 5.31 apstiprinās, tiks lietota īpaša datorprogramma ‘Ēku norobežojošo konstrukciju siltuma un mitruma analīze’, kuras autors ir Latvijas Lauksaimniecības universitātes, lauku inženieru fakultātes students, Sandris Liepiņš.

Šī darba mērķis bija pierādīt, ka sadaļas 5.25 un 5.31 nav elastīgas un universālas, izcelt šīs LBN 002-01 daļas un uzskatāmi parādīt mitruma procesus sienu konstrukcijās. Galvenie uzdevumi bija veikt aprēķinus dažādām sienu konstrukcijām un izdarīt attiecīgus secinājumus.

## Materiāli un metodes

Būvmateriāli un to parametri ir parādīti salīdzinošajā tabulā 1. Ūdens tvaika difūzijas pretestības faktors  $\mu$  (bezdimensionāls lielums) ir laboratoriski raksturots ar gaisa īpašībām: cik biezs gaisa slānis ir ekvivalents ar doto materiālu, ja šī materiāla biezums ir 1 metrs. Ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents  $S_d$  (m) ir aprēķināts pēc formulas (1) (LBN 002-01) un ir tieši atkarīgs no būvmateriāla biezuma. Ūdens tvaika difūzijas pretestības faktors  $\mu$  tabulā 1 ir izvēlēts plašā diapazonā no 1 līdz 100. Tas nozīmē, ka izvēlētie materiāli ir atbilstoši un pateicīgi, lai šajā pētījumā tos kārtotu slāņu kombinācijās, kas veido tipiskas ārsienu konstrukcijas.

$$S_d = \mu \times d, \quad (1)$$

kur

$S_d$  – ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents, m

$\mu$  – ūdens tvaika difūzijas pretestības faktors

$d$  – būvmateriāla biezums, m

1.tabula

## Būvmateriālu salīdzinošā tabula

Būvmateriāls	Skaidrojums	Ūdens tvaika difūzijas pretestības faktors, $\mu$
Stiegrots betons	smagais betons ar tērauda stiegrām, $2,500 \text{ kg m}^{-3}$	100
Gāzbetons (porains betons)	$500 \text{ kg m}^{-3}$	10
Izolācijas materiāls (putu polistirols)	Tenax EPS 100	50
Izolācijas materiāls (akmens vate)	Paroc FAS 3	1

Avots: LBN 002-01 pielikums nr.1, tabula nr.7

Būvmateriāli 1.tabulā ir grupēti konstruktīvajos materiālos un izolācijas materiālos. Konstruktīvie materiāli ir stiegrots betons un gāzbetons (porains betons). Izolācijas materiāli ir putu polistirols un akmens vate. Konstruktīvajās tika pievienotas plānas iekšējā un ārējā apmetuma ( $d=0.02\text{m}$ ,  $\mu=6\div 10$ ) kārtas, kur tas bija nepieciešams, sienas konstrukcijas korektumam.

Ir izveidota īpaša datorprogramma 'Ēku norobežojošo konstrukciju siltuma un mitruma analīze', lai analizētu mitruma un siltuma līknes konstrukcijās un uz konstrukciju slāņu virsmām. Analīzes princips ir vienkāršs – iegūstot kalkulācijas līknes, un, ja pārtrauktās līnijas līkne (parciālais tvaika spiediens) krusto nepārtrauktās līnijas līkni (piesātinātā tvaika spiediens), tad kondensāts izdalās un uzkrājas konstrukcijā. Korektam aprēķinam ir nepieciešams izvēlēties meteoroloģiskos datus. Tika izvēlēta pilsēta Rīga. Vidējā 12 mēnešu aprēķinātā vidējā temperatūra  $T_e$  ir  $6.191^\circ\text{C}$  un vidējais āra gaisa mitrums  $W_e$  ir 79.16% (LBN 003-01).

Slāņu sakārtojums pirmajai aprēķinātajai konstrukcijai ir redzams 2.tabulā. Kopējais ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents siltajā pusē ( $\sum S_{d, \text{warm}}$ ) ir vairāk kā piecas reizes lielāks par aukstās puses ( $\sum S_{d, \text{cold}}$ ) summu. Aprēķina rezultāti ir parādīti 1.attēlā.

2.tabula

## Pirmā konstrukcija – standarta siena

Būvmateriāls; sākot ar iekšpusi	Būvmateriāla biezums d, m	Ūdens tvaika difūzijas pretestības faktors, $\mu$	Ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents $S_d$ , m
Apmetums	0.02	6	0.12
Stiegrots betons	0.25	100	25.00
Izolācijas materiāls (akmens vate)	0.15	1	0.15
Apmetums (polimēru)	0.02	10	0.20

Slāņu sakārtojums otrajai konstrukcijai ir redzams 3.tabulā. Konstrukcijas kopējais ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents siltajā pusē ir pretrunā ar LBN 002-01,  $\sum S_{d, \text{warm}} < \sum S_{d, \text{cold}}$  (!). Aprēķina rezultāti parādīti 2.attēlā.

3.tabula

## Otrā konstrukcija – standarta siena

Būvmateriāls; sākot ar iekšpusi	Būvmateriāla biezums d, m	Ūdens tvaika difūzijas pretestības faktors, $\mu$	Ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents $S_d$ , m
Apmetums	0.02	6	0.12
Gāzbetons (porains betons)	0.25	10	2.50
Izolācijas materiāls (putu polistirols)	0.15	50	7.50
Apmetums (polimēru)	0.02	10	0.20

Trešās konstrukcijas slāņu sakārtojums – standarta daudzslāņu (sendviča tipa) sienai ir uzskaitīts 4.tabulā. LBN 002-01 nav norādes, kā definēt silto un auksto pusi daudzslāņu sienai. Ir acīmredzami, ka  $\sum S_{d, \text{warm}}$  nav piecas reizes lielāks par  $\sum S_{d, \text{cold}}$ .

Turklāt konstrukcija ir pretrunā ar LBN 002-01, un ir nepieciešams to aprēķināt pēc LVS EN ISO 13788: 2001. Aprēķina rezultāti parādīti 3.attēlā.

4.tabula

Trešā konstrukcija - standarta daudzslāņu (sendviča tipa) siena

Būvmateriāls; sākot ar iekšpusi	Būvmateriāla biezums d, m	Ūdens tvaika difūzijas pretestības faktors, $\mu$	Ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents $S_d$ , m
Apmetums	0.02	6	0.12
Stiegrots betons	0.20	100	20.00
Izolācijas materiāls (akmens vate)	0.15	1	0.15
Stiegrots betons	0.08	100	8.00

Nepareizi sakārtotu slāņu sienas konstrukcija ir redzama 5.tabulā. Šis piemērs tika izvēlēts, lai parādītu rezultātus aplamai un nepareizi veidotai sienai. Šajā konstrukcijā ir redzams, ka  $\sum S_{d, \text{warm}}$  nav ne tuvu lielāks par  $\sum S_{d, \text{cold}}$  un ir nepieciešams aprēķināt, vai tā ir droša pret ūdens kondensēšanos. Rezultāti parādīti 4.attēlā.

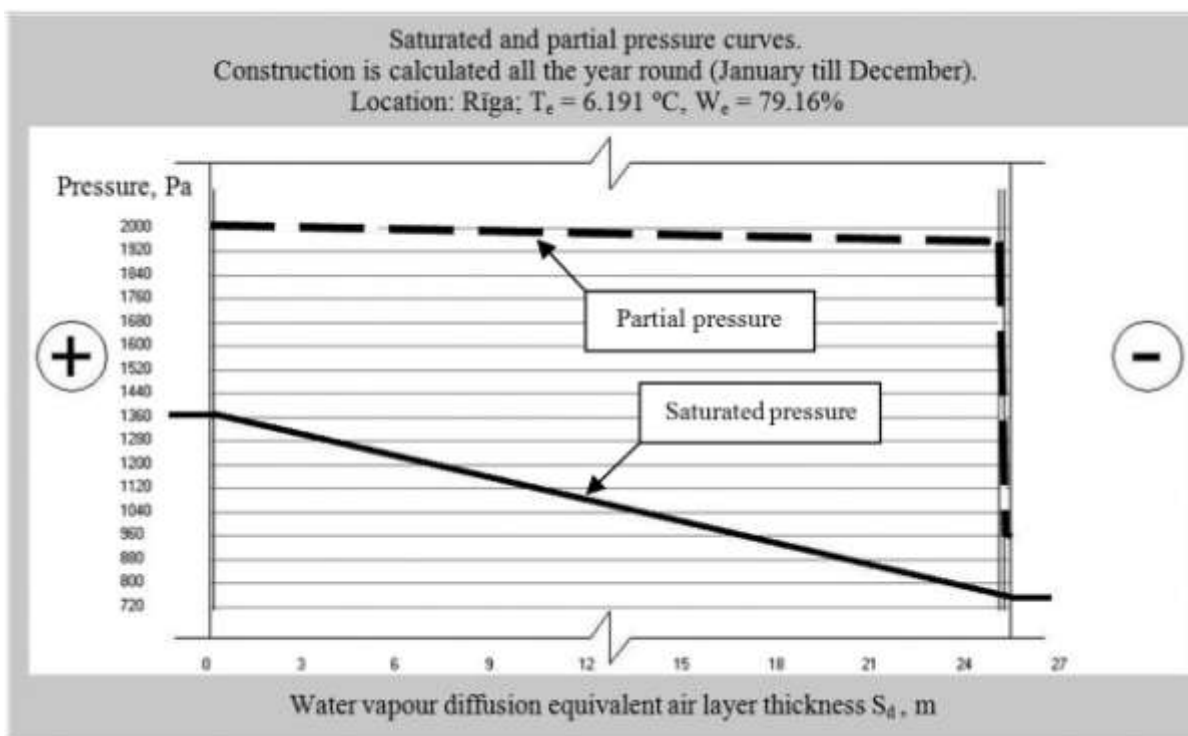
5.tabula

Ceturtnā konstrukcija – nepareizi sakārtotu slāņu siena

Būvmateriāls; sākot ar iekšpusi	Būvmateriāla biezums d, m	Ūdens tvaika difūzijas pretestības faktors, $\mu$	Ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents $S_d$ , m
Apmetums	0.02	6	0.12
Izolācijas materiāls (akmens vate)	0.10	1	0.10
Stiegrots betons	0.25	100	25.00

## Rezultāti un Diskusija.

Aprēķinu rezultāti (1.attēls) pirmajai konstrukcijai (2.tabula) rāda, ka pareiza siena, kas veidota vadoties pēc LBN 002-01 likuma un rekomendācijām, palīdz sasniegt kvalitatīvu konstrukciju – tā ir brīva no ūdens tvaika kondensāta visa gada garumā. Kopējais ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents siltajā pusē ir vairāk kā piecas reizes lielāks nekā  $S_d$  summa aukstajā pusē ( $\sum S_{d, \text{warm}} > 5 \times \sum S_{d, \text{cold}}$ ). Gada aukstajos mēnešos kondensāts neizdalās, tāpēc tam nav nepieciešamība žūt vasaras sezonā. Konstrukcija ir smaga, tai ir stiprības rezerve, un tā spēj balstīt pat 6 stāvu ēkas sienas.

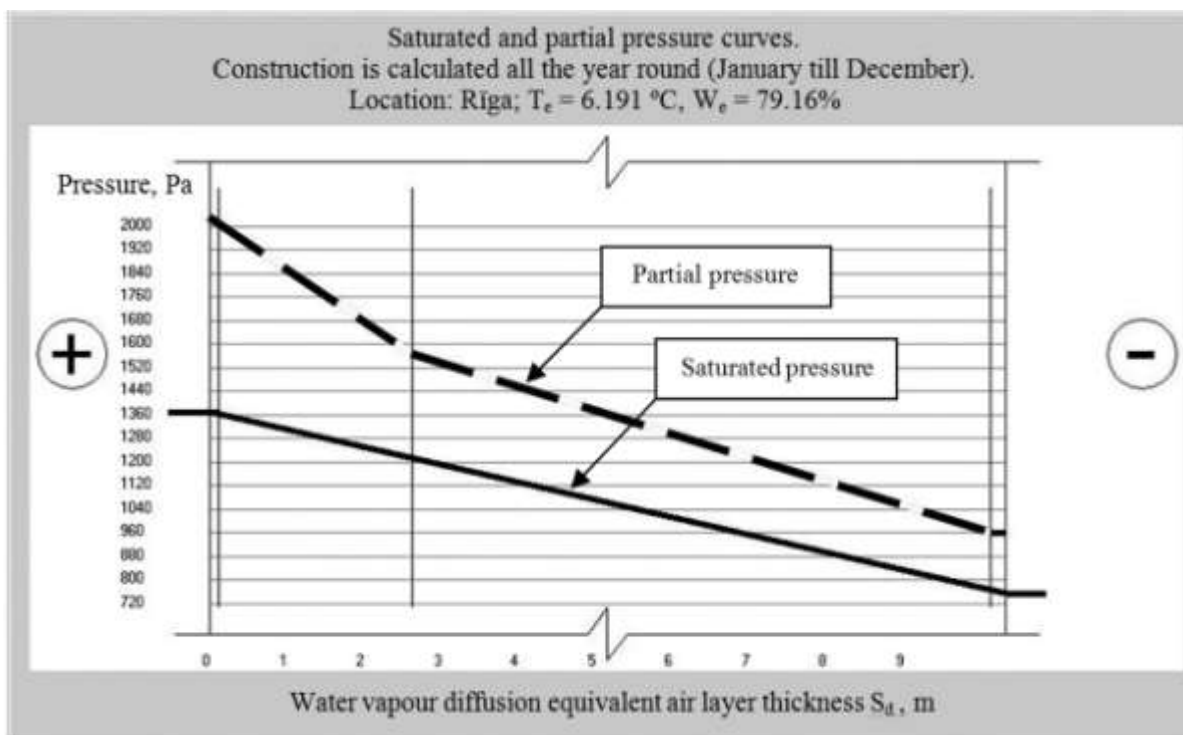


1.Att. Aprēķinu rezultāti pirmās konstrukcijas slāņu sakārtojumam;  
Konstrukcija ir droša pret ūdens tvaika kondensēšanos.

Sekojoš aprēķinu rezultātiem (2.attēls) otrajai konstrukcijai (3.tabula), kas veidota no gāzbetona (poraina betons) un izolēta ar putu polistirolu, ir novērojams, ka kopējais ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents siltajā pusē ir mazāks nekā  $S_d$  summa aukstajā pusē ( $\sum S_{d, \text{warm}} < \sum S_{d, \text{cold}}$ ). Šāda veida ārsienu konstrukcijas Latvijā ir plaši izplatītas. Slāņu izvietojums ir pretrunā ar LBN 002-01 5.25 daļu un, sekojot 5.31 daļas prasībām, vienmēr būtu jāaprēķina lietojot standartu LVS EN ISO 13788: 2001. Patiesība ir bēdīga: būvinženieri un arhitekti šādām bieži sastopamām konstrukcijām neveic

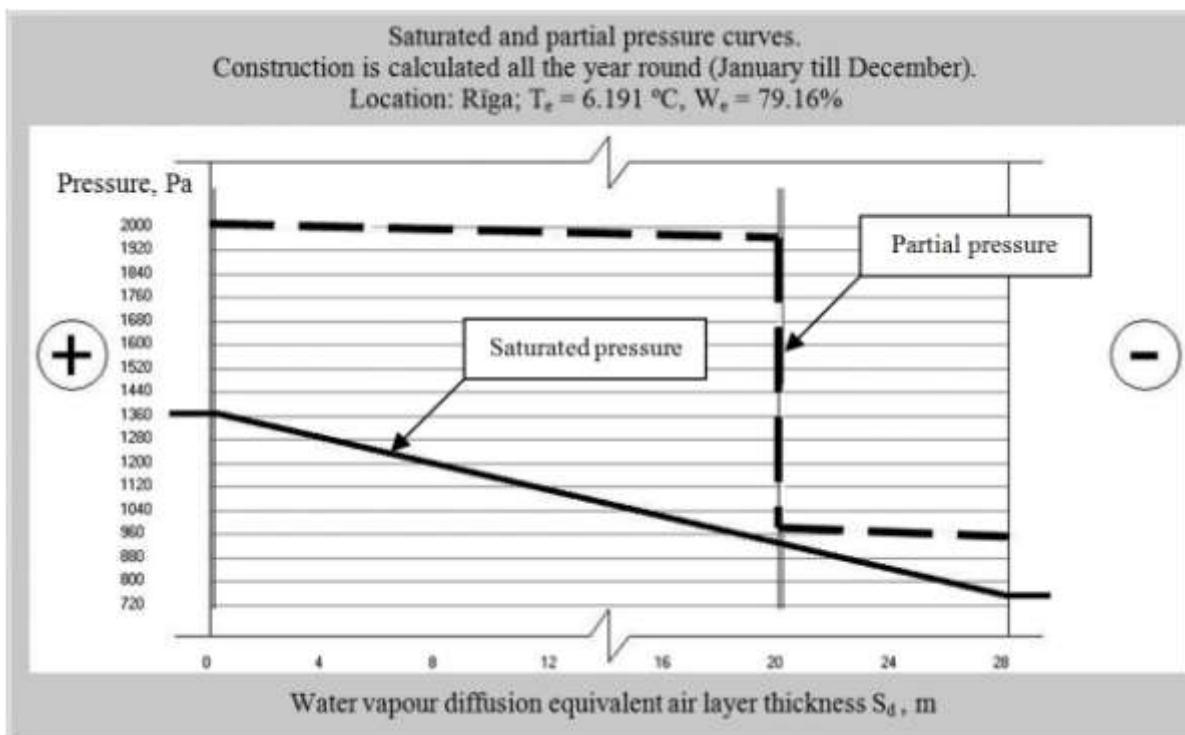


aprēķinus, kas pierādītu, ka konstrukcijā neveidojas tvaika kondensāts. Būtu nepieciešamas būvmateriālu ražotāju norādes, kā pareizi kārtot konstrukcijas slāņus, lai izvairītos no sarežģītiem aprēķiniem.



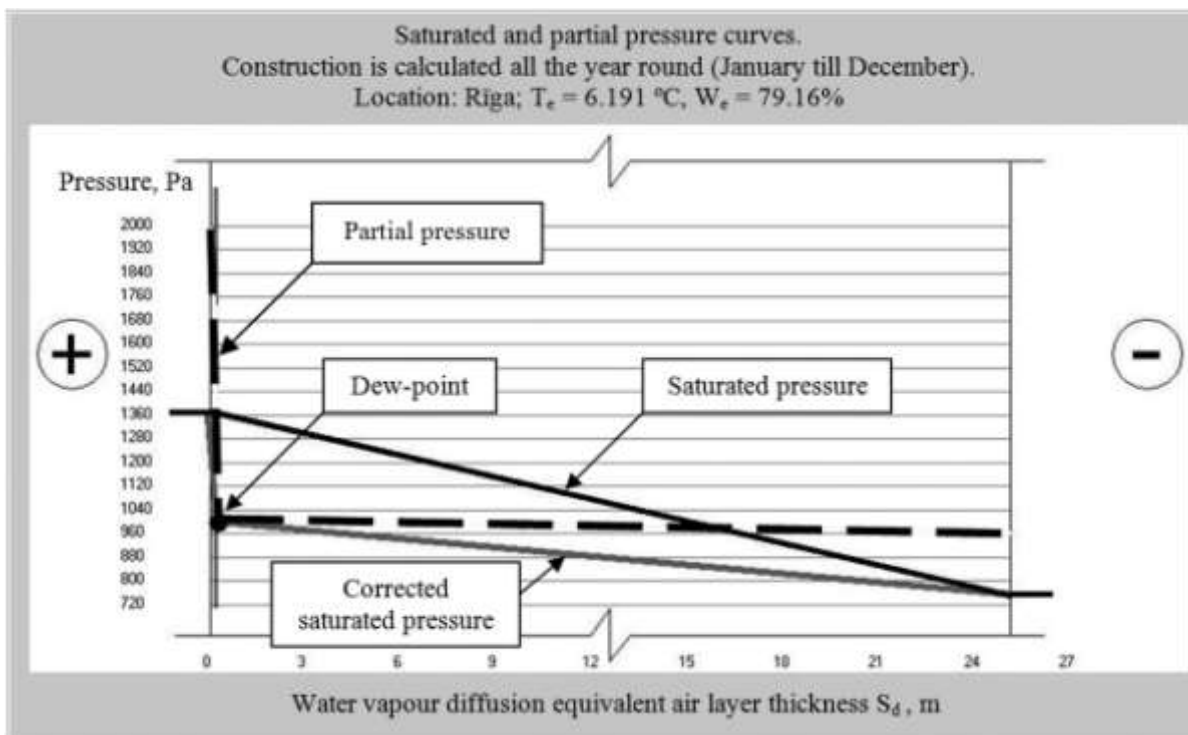
2.Att. Aprēķinu rezultāti otrās konstrukcijas slāņu sakārtojumam;  
Konstrukcija ir droša pret ūdens tvaika kondensēšanos.

Rūpnieciski gatavotas stiegrota betona daudzslāņu (sendviča tipa) sienas (4.tabula) ir pārsvarā izgatavotas no divām kārtām stiegrota betona un siltumizolācijas materiāla, piemēram, akmens vates, starp šīm kārtām. Konstrukcijas priekšrocības ir būvdarbu izpildes ātrums un vienkārša montāža dēļ to rūpnieciskās ražošanas un viengabalainiem izmēriem. Kā parādīts aprēķinu rezultātos (3.attēls), šīs konstrukcijas ir drošas pret ūdens kondensēšanās gada griezumā. Tas nozīmē, ka kopējā konstrukcijas mitruma bilance ir negatīva. Patiesība ir sekojoša: ūdens tvaiki kondensējas no novembra līdz martam. Tā iemesla dēļ, ir nepieciešams sekot žūšanas procesam vasaras laikā (siltajā periodā). Sekojot LBN 002-01 5.25 daļai, ir grūti strikti definēt dotās konstrukcijas siltos un aukstos slāņus ( $\sum S_{d, \text{warm}}=?$ ;  $\sum S_{d, \text{cold}}=?$ ). Rūpnieciski gatavotas stiegrota betona sendviča tipa sienas ir plaši pielietotas daudzstāvu ēku būvniecībā, kam arī tās sākotnēji ir paredzētas.



3.att. Aprēķinu rezultāti trešās konstrukcijas daudzslāņu sakārtojumam;  
Konstrukcija ir droša pret ūdens tvaika kondensēšanos.

Latvijā diezgan bieži ievērots, ka cilvēki, kas dzīvo daudzdzīvokļu mājās, remontējot savus dzīvokļus lieto izolācijas materiālus, iebūvējot tos ēkas norobežojošo konstrukciju iekšpusē (siltajā pusē). Tradicionāla kļūda šādiem remontdarbiem – bieži vien tiek aizmirsts par tvaika izolāciju, kas varētu novērst ūdens tvaika izdalīšanos un kondensāta uzkrāšanos. Šī iemesla dēļ aprēķina rezultāti (4.attēls) ceturtajai konstrukcijai (5.tabula) uzskatāmi parāda, kas notiek konstrukcijas iekšpusē, ja tvaika izolācijas nav izbūvēta vai izolācija ir bojāta.



4.att. Aprēķinu rezultāti ceturtais konstrukcijas nepareizam slāņu sakārtojumam;  
Konstrukcija nav droša pret ūdens tvaika kondensēšanos.

Kondensāts rāsas punktā (4.attēls) ceturtajā konstrukcijā (5.tabula) izdalās no oktobra mēneša līdz aprīlim uz virsmas starp siltumizolācijas materiālu un stiegotu betonu. Mitruma bilance ir pozitīva, pārtrauktās līnijas grafiks (parciālais tvaika spiediens) ir krustojusies ar nepārtrauktās līnijas grafiku (piesātinātā tvaika spiediens), kondensāts izdalās aukstajā periodā un neizžūst vasaras laikā. Slāņu izkārtojums šādā veidā, kā dotajā konstrukcijā (5.tabula) nav rekomendējams.

Kopējais ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalents siltajā pusē ir daudzkreiz mazāks nekā  $S_d$  summa aukstajā pusē ( $\sum S_{d, \text{warm}} \ll \sum S_{d, \text{cold}}$ ).

**Secinājumi.**

Šajā referātā tika apskatītas un aprēķinātas standarta tipa sienas. Ar aprēķiniem ir pierādīts, ka LBN 002-01 sadaļas 5.25 un 5.31 nav elastīgas un universālas. LBN 002-01 'Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika' punkts 5.25 ir tikai kā ieteikums, jo visu veidu konstrukcijas (sienas, jumti un grīdas) būtu jārēķina, lai pārliecinātos, ka tās ir drošas pret ūdens tvaika kondensēšanos.

Pieņemt 5 reizes lielāku kopējo ūdens tvaika pretestības gaisa difūzijas ekvivalentu  $S_d$  siltajās puses slāņiem, ir tas pats, kas paredzēt konstruktīvos elementus ar pieckārtēju stiprības rezervi.

Jābūt tabulām un rekomendācijām, kā kārtot slāņus, ietverot būtiskākos būvfizikas un siltumtehnisko aprēķinu rezultātus. Būtu nepieciešamas būvmateriālu ražotāju norādes, kā pareizi kārtot konstrukcijas slāņus, lai izvairītos no sarežģītiem aprēķiniem.

Piesātinātā tvaika un parciālā tvaika spiedienu līknes ir atkarīgas no dažādiem apstākļiem: iekštelpu temperatūras, ārējā klimata apstākļiem, materiālu specifiskajām īpašībām un to sakārtojuma slāņos. Šajā referātā aprēķinu veikšanai tika izmantoti standarta apstākļi ar vidējiem parametriem.

Aizvien studenti un arhitekti ar grūtībām rēķina vienkāršas norobežojošās konstrukcijas, neietverot galvenos aprēķinus: vai šīs konstrukcijas ir drošas pret ūdens tvaika kondensēšanos?

### **Izmantotā literatūra.**

1. Ministru kabineta noteikumi nr.495, LBN 002-01 'Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika'. Rīga. 27.11.2001.
2. Ministru kabineta noteikumi nr.376, LBN 003-01 'Būvklimatoloģija'. Rīga. 23.08.2001.
3. LVS EN ISO 13788: 2001 'Ēku būvmateriālu un būvelementu higrotermiskās īpašības. Iekšējās virsmas temperatūra, lai izvairītos no kritiskā virsmas mitruma un iekšējās kondensācijas. Aprēķina metodes' (2003). Rīga: VSIA Latvijas standarts, 36 lpp.

Tulkojums. Referāts sagatavots angļu valodā dalībai 2010.gada zinātniskajā konferencē 'Research for Rural development 2010'.

(S.Liepiņš)