

ERAF PROJEKTS „ATMOSFĒRAS MODEĻPROGNOŽU PĒCAPSTRĀDES
METOŽU IZSTRĀDE”
VIENOŠANĀS NR.
2013/0058/2DP/2.1.1.1.0/13/APIA/VIAA/008

PROGNOŽU VERIFIKĀCIJA

Ievads.....	3
1. Dati.....	4
Prognozes.....	4
DMI HIRLAM prognozes.....	5
GFS prognozes.....	6
Novērojumi.....	7
2. Verifikācijas metodika	10
Verifikācijas metrikas nepārtrauktiem datiem	10
Metodes dihotomiem datiem.....	16
Kvalitātes novērtējumi (<i>skill scores</i>).....	18
Heidkes kvalitātes novērtējums (<i>Heidke skill score</i>)	19
Hansena - Kuipera diskriminants (<i>Hanssen – Kuipers discriminant</i>).....	20
3. Rezultāti.....	22
Temperatūra.....	22
Vējš.....	30
Nokrišņi	38
4. Secinājumi.....	49
5. Citētie darbi.....	50

IEVADS

Laika apstākļu prognožu nozīmība sabiedrībai ir acīmredzama, ko pierāda ievēriba, kas tām tiek veltīta masu medijos. Par spīti faktam, ka laika prognožu precizitāte nepārtraukti turpina pieaugt pateicoties aizvien pieaugošām datorjaudām, izpratnei par fizikālajiem procesiem atmosfērā un novērojumu iespējām, laika prognozes sabiedrības acīs dažkārt joprojām tiek uzskatītas par neuzticamām un šis fakts būtu jāņem vērā ikvienam, kas piedāvā laika apstākļu prognozes.

Šo neuzticību ir iespējams kļiedēt vai gluži otrādi - apstiprināt, veicot prognožu verifikāciju. Meteoroloģisko prognožu precizitāti ir iespējams pārbaudīt pēc notikuma uz ko tās attiecas vienkārši salīdzinot tās ar novērojumiem. Veicot gana daudz šādu salīdzinājumu, ir iespējams izdarīt statistiskus secinājumus par prognožu kļūdu īpašībām. Skaitlisko laika prognožu rezultāti viegli pakļaujas šādai pārbaudei, jo to prognoze pēc savas būtības ir ģeogrāfiski piesaistīta skaitļu kopa (pretstatā kvalitatīviem un subjektīviem novērtējumiem, piemēram, "labs laiks").

Projekta PROMESYS mērķis ir skaitlisko laika prognožu pēcapstrāde, padarot tās vai nu precīzākas vai arī kā savādāk noderīgākas konkrētiem prognožu izmantotājiem. Acīmredzami, ka abu šo projekta mērķu sasniegšana balstās uz zināšanām par pašreiz pieejamo laika prognožu kļūdas īpašībām. Prognožu uzlabošanai verifikācija veido bāzi, kas ne tikai atbild uz jautājumu "ko būtu jāuzlabo?", bet arī sniedz ieskatu par to, kā to izdarīt. Tāpat ir skaidrs, ka no prognozēm atvasinātu produktu kvalitāte būs stipri atkarīga no pamata meteoroloģisko parametru prognozes kvalitātes.

1. DATI

PROGNOZES

Mūsdienās laika prognozes pamatā tiek veidotas uz skaitlisko laika prognožu modeļu rezultātiem (Numerical Weather Prediction, NWP). Skaitliskais laika prognožu modelis ir datorprogramma, kas kā ieejas datus saņem informāciju par pašreizējo atmosfēras stāvokli, pielieto fizikas vienādojumus lai aprēķinātu atmosfēras stāvokļa attīstību laikā, tādējādi radot laika prognozi tuvākajām dienām.

Tā kā atmosfēru aprakstošie vienādojumi ir sarežģīti, tad to risināšanā tiek izmantotas skaitliskās metodes. Skaitlisko metožu pamatā ir aprēķinu apgabala (šajā gadījumā Zemes virsmas apgabala) sadalīšana mazākos fragmentos un tiek pieņemts, ka šo fragmentu robežās atmosfēras īpašības ir konstantas. Šādu dalījumu sauc par aprēķinu režģi un telpas apgabalu, kurā atmosfēras īpašības tiek pieņemtas konstantas – par režģa šūnu (piemērs redzams 1.1. att. b.) Skaitlisko laika prognožu rezultāts ir meteoroloģisko parametru (piemēram, temperatūras) lauki, kas tiek izteikti kā konkrētas skaitliskas vērtības aprēķinu režģa punktos.

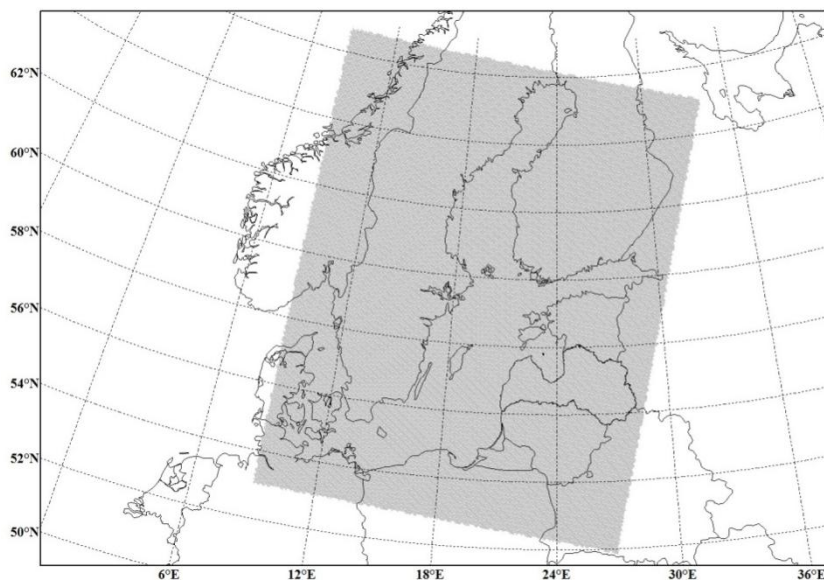
No skaitlisko metožu teorijas ir zināms, ka sīkāks režģis labāk atļauj reprezentēt fizikālos procesus, taču šobrīd nekur pasaulē nav pietiekamu datorjaudu lai varētu veikt laika prognožu aprēķinus ar pēc patikas mazu režģi. Liktos loģiski koncentrēt pieejamo datorjaudu mazā telpas aprēķinā, piemēram, tikai Latvijas teritorijā. Taču šādu pieeja nav iespējama atmosfēras uzbūves dēļ - laika apstākļus nosaka liela mēroga (*scale*, ~ 1000 km) procesi (piemēram, cikloni), tāpēc, lai korekti prognozētu laika apstākļus Latvijai rītdien, laika apstākļu modelim jāapraksta lielāks telpas apgabals šodien. Vienkāršojot var teikt - jo ilgākam laika periodam uz priekšu jāveic prognoze, jo lielāks telpas apgabals nepieciešams. Tāpēc laika prognožu modeļus var iedalīt globālajos, kuru aprēķinu apgabals aptver visu zemeslodi, un lokālajos (Local Area Model (LAM)), kuri aptver tikai noteiktu teritoriju. Atbilstoši globālajiem modeļiem ir sliktāka (rupjāka) režģa izšķirtspēja.

Ar skaitlisko laika prognožu veidošanu lokālā mērogā nodarbojas liels skaits Eiropas un pasaules meteoroloģisko institūciju. Globālās prognozes pieprasa lielākas datorjaudas un atbilstoši tiek veidotas mazākā skaitā institūciju. Tā kā Latvijā šobrīd laika prognozes operacionālā režīmā netiek veidotas, LU VTPMML uzturētajā FiMAR meteoroloģisko un okeanogrāfisko prognožu piegādes sistēmā tiek izmantotas Dānijas Meteoroloģiskā Institūta (DMI) lokālā modeļa un ASV Nacionālā laika apstākļu servisa Vides modelēšanas centra (National Weather Service Environmental Modeling Center) globālā modeļa GFS prognozes.

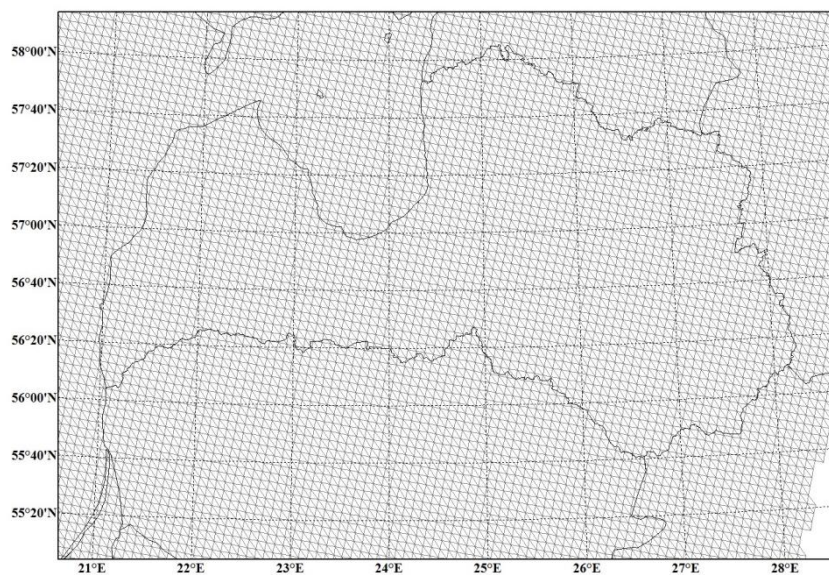
Pieņemsim, ka vēlamies izdarīt modeļprognozi, kuras sākuma stāvoklis atbilst 00:00. Korekta sākuma stāvokļa aprēķins pats par sevi ir ievērojama zinātniska problēma un mūsdienās par sākuma stāvokli parasti tiek uzskatīts kāds iepriekšējās prognozes rezultāts, kas tiek kombinēts ar novērojumiem konkrētajā laika brīdī. Skaidrs, ka šādu aprēķinu nevar uzsākt, pirms no novērojumu stacijām ir saņemti novērojumi, pievienojot tam laiku, kas nepieciešams, lai veiktu aprēķinus, tad prognozes rezultāts būs gatavs un piegādājams prognozes izmantotājiem tikai pēc vairākām stundām.

DMI HIRLAM PROGNOZES

DMI izmanto HIRLAM (HI Resolution LAM) modeli, ko veidot un uztur HIRLAM konsorcijs. DMI HIRLAM prognozes tiek izveidotas 4 reizes diennaktī. Prognožu sākums atbilst 00:00, 06:00, 12:00 un 18:00 pēc Griničas laika. (02:00, 08:00, 14:00 un 20:00 pēc Latvijas laika ziemā, 03:00, 09:00, 15:00 un 21:00 pēc Latvijas laika vasarā). Prognožu arhīva aprēķina datus ietverošais apgabals un režģis, kura soļa izmērs ir 3 km, parādīts 1.1. att.



a)

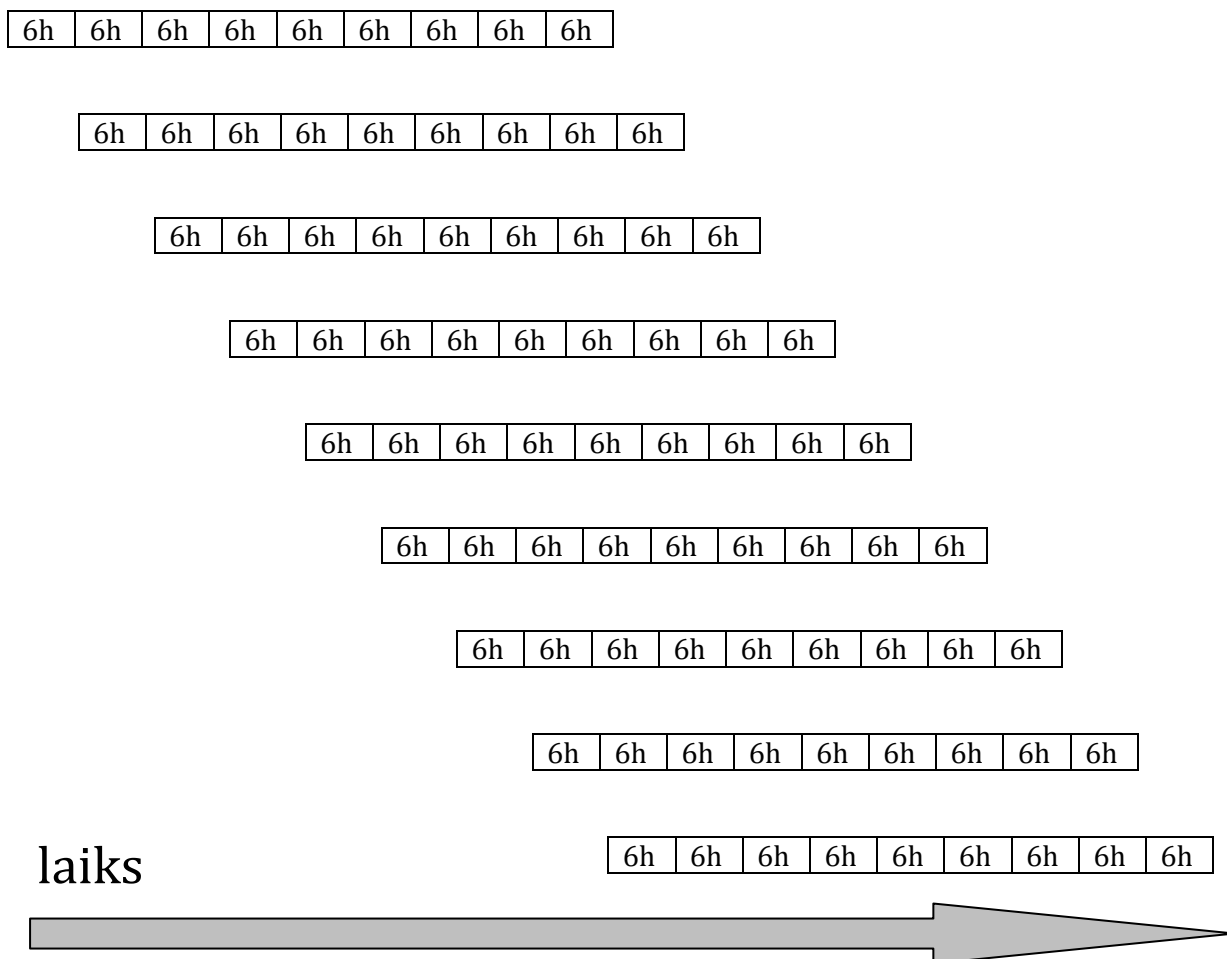


b)

1.1. att. DMI HIRLAM prognozes pārklātais apgabals (a), kā arī režģa izvietojums Latvijas teritorijā (b).

Režģa punktu skaits (punktu skaits, kurā tiek sniegti prognozes ikstundas dati) ir ar kārtu 60 000. Prognožu ilgums, kas tiek izmantots FIMAR sistēmā, ir 54 stundas no uzsākšanas brīža. Parametru vērtības pieejamas ar vienas stundas laika soli. Tā kā prognozes tiek atkal no jauna

aprēķinātas un izsūtītas ik pēc 6 h, tad katra ikstundas vērtība 54 h laikā mainās 9 reizes, skat. 1.2. att.. Šī iemesla dēļ apstrādājamo datu apjoms daudzkaršojas, jo projektā ietverts uzdevums ne tikai analizēt modeļaprēķinu spēju prognozēt indikatoru un parametru vērtības, bet arī analizēt prognožu kvalitāti (un to uzlabot) laikā.



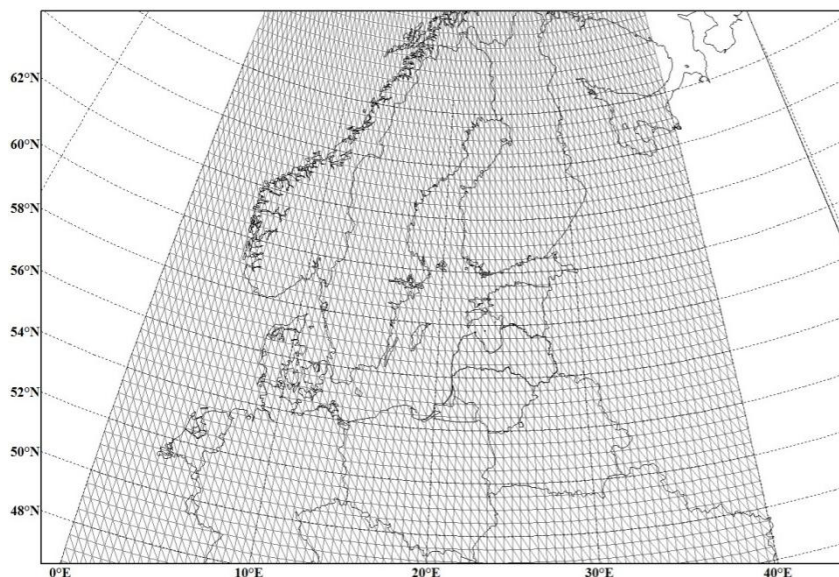
1.2. att. Prognozes arhīva veidošanās princips.

GFS PROGNOZES

NWS globālā modeļa jeb Global Forecast System (GFS) prognozes tiek izveidotas 4 reizes diennaktī. Prognožu sākums atbilst 00:00, 06:00, 12:00 un 18:00 pēc Griničas laika. Prognožu ilgums, kas tiek izmantots FIMAR sistēmā, ir 180 stundas no uzsākšanas brīža. Parametru vērtības pieejamas ar laika soli - 3 stundas. Pēc analogijas ar 1.2. att. šajā situācijā katra ikstundas vērtība var mainīt savu vērtību 30 reizes - prognoze tai ietverta 30 sekojošās prognozēs, kas palielina apstrādājamo datu apjomu.

Prognozes tiek piedāvātas uz aprēķinu režģa, kas atbilst 0.5 x 0.5 grādiem, kas Latvijai atbilstošajos platumu grādos ir aptuveni 30 x 50 km. Ģeogrāfiskā garuma grāda izmērs kilometros ir savādāks kā ģeogrāfiskā platumu grāda izmērs kilometros. Attiecīgi Latvijas teritorijai atbilst aptuveni 60 režģa punkti. GFS prognozes pārklātais apgabals ir būtiski lielāks nekā DMI HIRLAM prognozei, skat. 1.3. att. Uz GFS prognozēm neattiecas autortiesību

ierobežojumi, tās ir brīvi izmantojamas (*public domain*), tāpēc tās plaši tiek izmantotas dažādos komerciālos produktos.



1.3. att. GFS prognozes režģis un pārklātais apgabals

NOVĒROJUMI

Latvijā meteoroloģiskos novērojumus veic LVĢMC (Latvijas Vides Ģeoloģijas un Meteoroloģijas Centrs). Ikstundas novērojumus noteiktos laika periodos un noteiktām stacijām iespējams iegūt bez maksas LVĢMC mājas lapā (1).

Papildus tam, operacionālo prognožu piegādes programmas FiMAR ietvaros LU VTPMML uztur lokālu novērojamu datu bāzi, kurā apkopota daļa LVĢMC novērojamu, pie tam tajā meteoroloģisko parametru vērtības tiek uzkrātas tādā veidā, kādas tās tiek saņemtas no novērojamu stacijām, proti, ar daudz lielāku izšķirtspēju laikā.

Verifikācijai izmantotā novērojamu datu kopa tika veidota apvienojot šos abus avotus. FiMAR datiem bija nepieciešama datu apstrāde, lai no datiem ar mazāku laika soli iegūtu datus, kas raksturo meteoroloģiskos parametrus ar stundas izšķirtspēju. Gadījumā ja vienam un tam pašam laika periodam bija pieejami abi avoti, priekšroka tika dota LVĢMC datiem.

Tabula 1.1. uzskaitītas:

- 1) verifikācijā izmantotās novērojamu stacijas un to ģeogrāfiskās koordinātas;
- 2) datu pieejamība stacijās no LVĢMC avotiem bez maksas 2012. un 2013. gadā (atzīmējot ar „1” kolonnās „LVĢMC 2012”, „LVĢMC 2013”);
- 3) stacijas datu pieejamība FiMAR datu bāzē (atzīmējot ar „1” kolonnā „FiMAR”).
- 4) Stacijas, kurās tiek veikti nokrišņu novērojamu (atzīmējot ar „1” kolonnā „Nokrišņu novērojamu”)

Temperatūras un vēja ātruma novērojamu ir mazāk komplicēti nekā nokrišņu novērojamu un tika veikti visās Tabula 1.1 apskatītajās stacijās.

Tabula 1.1. Verifikācijā izmantotās novērojumu stacijas.

Stacija	Ģeogrāf. garums	Ģeogrāf. platums	LVGMC 2012	LVGMC 2013	FiMAR	Nokrišņu novērojumi
Aluksne	27.0354	57.4396	1	1	0	0
Daugavpils	26.6592	55.9342	1	1	0	0
Dobele	23.3196	56.6199	1	1	0	0
Kolka	22.5898	57.7471	1	1	1	1
Liepāja	21.0207	56.4754	1	1	1	1
Rīga LU	24.1161	56.9506	1	1	0	1
Rucava	21.1732	56.162	1	1	0	1
Saldus	22.5036	56.6754	1	1	0	1
Skriveri	25.1282	56.6426	1	1	0	0
Ainazi	24.366	57.8679	0	1	1	1
Rūjiena	25.3716	57.8866	0	1	1	0
Ventspils	21.5373	57.3956	0	1	1	0
Stende	22.5508	57.1834	0	1	1	0
Mersrags	23.1132	57.3332	0	1	1	0
Skulte	24.4122	57.3006	0	1	1	0
Priekuli	25.3387	57.3159	0	1	1	0
Pavilosta	21.1893	56.8884	0	1	1	0
Daugavgrīva	24.0167	57.05	0	0	1	1
Bauska	24.1829	56.4158	0	1	1	1
Zilani	25.9185	56.52	0	1	1	0
Rezekne	27.2807	56.5447	0	1	1	0
Gulbene	26.7188	57.1322	0	1	0	0
Jelgava	23.7374	56.6775	0	1	0	0
Zoseni	25.9056	57.1351	0	1	0	1

Lai novērstu problēmas, kas saistītas ar laika zonu maiņu, meteoroloģijā pieņemts izmantot nevis vietējās laika zonas, bet gan Griničas laiku (Universal Coordinated Time, UTC). Ziemā Latvijas laiks ir priekšā UTC par divām stundām, vasarā – par trim. LVGMC novērojumi no mājas lapas ir pieejami Latvijas teritorijā atbilstošajā laika zonā, tāpēc bija nepieciešams LVGMC novērojumus pārveidot no Latvijas teritorijai atbilstošās laika zonas uz UTC laiku, ņemot vērā to, ka pāreja uz vasaras laiku notiek dažādos datumos (Tabula 1.2.).

Tabula 1.2. Pāreja uz vasaras laiku Latvijā 2012. un 2013. gadā.

Gads	Pāreja uz vasaras laiku	Pāreja uz ziemas laiku
2012	25. marts	28. oktobris
2013	31. marts	27. oktobris

Apskatītajā periodā un stacijās temperatūras un vēja ātruma novērojumi tiek veikti katru stundu un raksturo meteoroloģiskā parametra vērtības attiecīgajā laika momentā. Par attiecīgā parametra vērtību tipiski tiek uzskatīta stundas pēdējo desmit minūšu vidējotā vērtība. Tā kā nokrišņu raksturs ir nepastāvīgs laikā un telpā parasti tiek mērīta un arī verifikācijā izmantota nokrišņu daudzuma stundas summa milimetros.

Tā kā GFS prognoze sniedz nokrišņu daudzuma prognozi trīs stundu summai, tad GFS verifikācijai tika izmantots lielums, kas iegūts saskaitot atbilstošo trīs stundu novērojumu nokrišņus.

Svarīga nianse, kas nepieciešama interpretējot LVGMC novērojumu datus ir tāda, ka piemēram, nokrišņu daudzums, kas novērojumu datus atrodas pretim laika atzīmei , „14:00” atbilst nokrišņiem starp 14:00 un 15:00, lai gan tipiski skaitlisko laika prognožu datus nokrišņu daudzums starp 14:00 un 15:00 tiktu piekārtots laikam „15:00”. Līdzīgi interpretējami arī citi novērojumi, piemēram, stundas maksimālā temperatūra.

2. VERIFIKĀCIJAS METODIKA

Prognožu (it īpaši meteoroloģisko) kvalitātes pārbaudei jeb verifikācijai ir veltīts ievērojams daudzums zinātniskās literatūras, un, atbilstoši meteoroloģisko prognožu attīstībai, notiek arī verifikācijas metožu attīstība.

Saprotams, ka pielietojamās verifikācijas metodes ir atkarīgas no verifikācijas mērķa. Verifikāciju ir iespējams klasificēt vairākos veidos – kā administratīvu, zinātnisku vai ekonomisku (2). Administratīvā verifikācija piedāvā pārskatu pār prognožu veidošanas sistēmas veiktspēju, atļauj salīdzināt dažādas prognožu sistēmas, kā arī pamatot resursu sadalījumu prognožu sistēmas uzlabošanai. Zinātniskās verifikācijas mērķis ir uzlabot izpratni par prognožu veidošanas sistēmas darbību un tās īpatnībām. Ekonomiskā verifikācija ir saistīta ar klienta prasībām, piemēram, ja klients pieņem lēmumus, kas balstīti uz prognožu sistēmas rezultātiem.

Šajā projekta PROMESYS stadijā galvenais uzsvars ir likts uz zinātnisko verifikāciju. Saprotams, ka prognožu kvalitātes uzlabošanai nepieciešama izpratne par to, kāda ir šī brīža prognožu kvalitāte un kādas ir prognožu kļūdu īpatnības. Saistībā ar no meteoroloģisko parametru prognozēm atvasināto lielumu (piemēram, grāddienu) prognozēm, ir svarīgi zināt kāda ir pašu meteoroloģisko parametru kļūda, lai varētu novērtēt no tiem aprēķināto lielumu kļūdu.

VERIFIKĀCIJAS METRIKAS NEPĀRTRAUKTIEM DATIEM

Lielākā daļa no parametriem meteoroloģijā pieņem nepārtrauktas vērtības, piemēram, temperatūra konkrētā punktā var būt nepārtrauktā intervālā no -30C līdz 30C (tipiski gan temperatūru apskata ar precizitāti līdz vienai zīmei aiz komata), un attiecīgi arī temperatūras prognoze var būt jebkurš skaitlis šajā intervālā. Līdzīgi ir ar vēja ātrumu, kura tipiskās vērtības ir no 0 līdz 30 m/s. Šādiem datus sauc par nepārtrauktiem (*continuous*) un to verifikācijā izmanto nepārtrauktu datu verifikācijas metrikas (*continuous metrics*), lai pretnostatītu prognozēm, kuru rezultāts var pieņemt tikai divas vērtības (piemēram, prognoze, ka lietus vai nu līs vai nelīs).

Verifikācijas pamatā ir kāda prognozes vērtība f_i un tai laikā un telpā atbilstošais novērojums o_i . Izmantojot N šādus pārus iespējams aprēķināt prognožu kvalitātes raksturlielumus jeb verifikācijas metrikas (3). Viens no populārākajiem raksturlielumi ir vidējā kļūda (*bias*), ko aprēķina kā:

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_i (f_i - o_i).$$

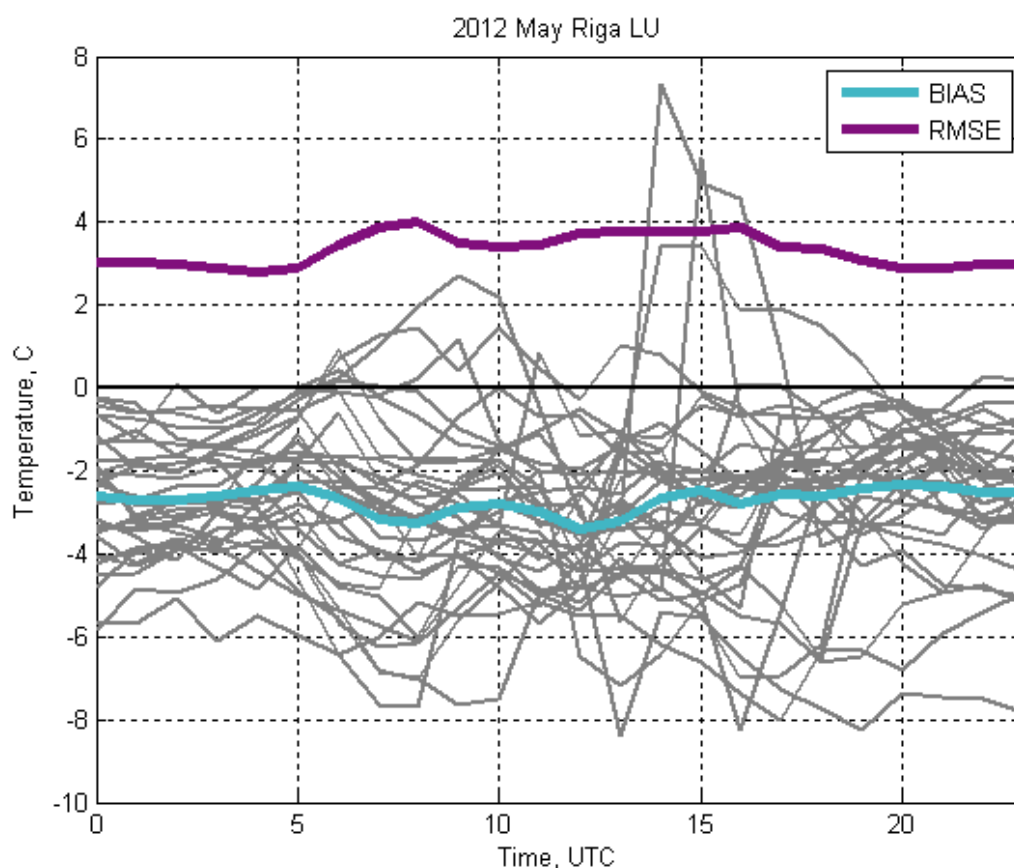
Vidējā kļūda parāda to vai prognožu un novērojumu vidējā vērtība sakrīt. Ideālajā gadījumā vidējā kļūda ir nulle, taču tas, ka vidējā kļūda ir nulle, nenozīmē, ka prognozes rezultāti ideāli sakrīt ar novērojumiem. Vidējā kļūda var būt gan pozitīva, gan negatīva. Ja vidējā kļūda ir lielāka par nulli, tad prognožu vērtības ir lielākas par novērojumiem (piemēram, temperatūras gadījumā prognoze ir siltāka, kā novērojumi un vējš prognozē ir ātrāks kā novērojums). Ja vidējā kļūda ir mazāka par nulli, tad novērojumu skaitliskā vērtība ir lielāka par prognozi (temperatūras prognoze ir aukstāka, prognozētais vējš ir lēnāks par novēroto).

Vidējā kļūda parāda vai modelis nav sistemātiski „par aukstu” vai „par siltu”. Lai novērtētu tipisko atšķirību starp prognozi un novērojumiem, jāizmanto vidējā kvadrātiskā kļūda (*root mean square error, RMSE*):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (f_i - o_i)^2}.$$

RMSE var būt lielāka vai vienāda ar nulli. RMSE ir nulle gadījumā, ja prognozes ideāli sakrīt ar novērojumiem. Jo lielāka ir RMSE vērtība, jo sliktāka ir prognozes kvalitāte. RMSE vērtība nav atkarīga no tā, vai prognoze ir lielāka vai mazāka par novērojumiem.

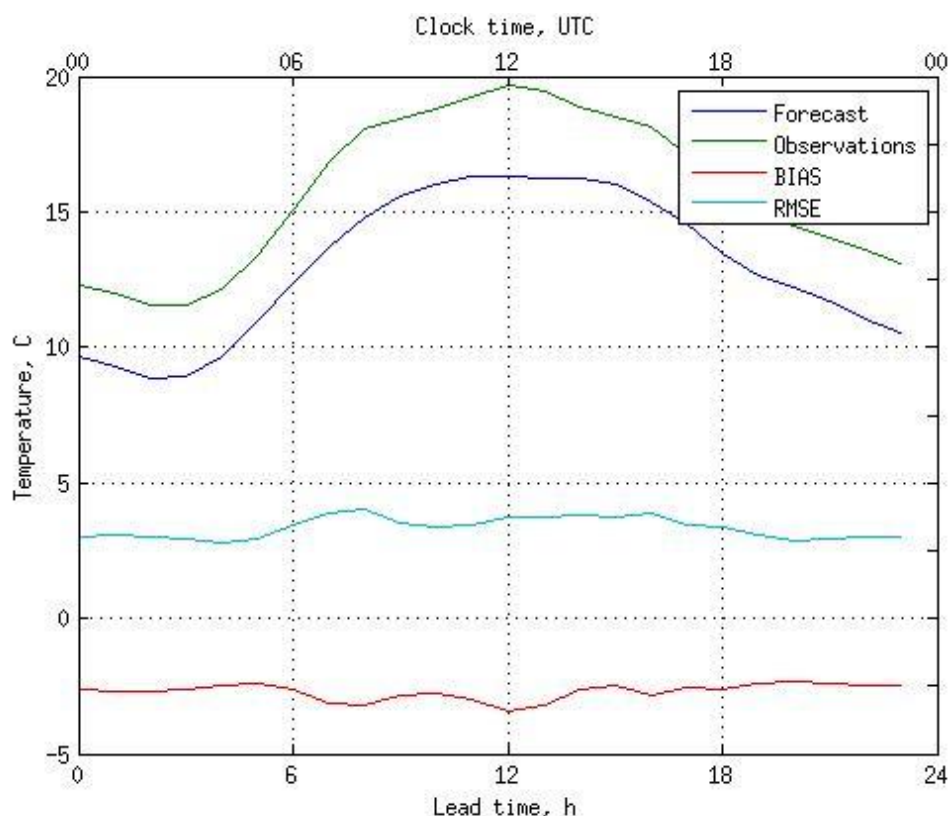
Ir loģiski sagaidīt, ka prognožu kvalitāte samazināsies, palielinoties laika sprīdim, kas šķir prognozes izdarīšanas brīdi no laika, kuram prognoze ir izdarīta. Viegli iedomāties, ka prognoze laika apstākļiem pēc divām nedēļām būs sliktākas kvalitātes kā laika prognoze rītdienai. Tāpēc viens no veidiem kā verifikācijas metrikas tiek aprēķinātas un attēlotas grafiski ir verifikācijas metrika kā funkcija no starpības laikā starp brīdi, kad prognoze ir izdarīta un brīdi, kuram prognoze ir izdarīta (*lead time*). Turpmākajā tekstā šis lielums tiks saukts par „laiku starpību”.



2.1. att. Nepārtrauktu parametru prognožu verifikācijas piemērs 1 mēnesim. Laika periods 2012. gada maijs, stacija – Rīga LU. Pelēkās līnijas – katrai no mēneša dienām UTC 00 prognozes novirze no novērojumiem – katrai laika starpībai līdz lead time 24 h, zilā līnija – vidējā novirze BIAS, violetā līnija RMSE.

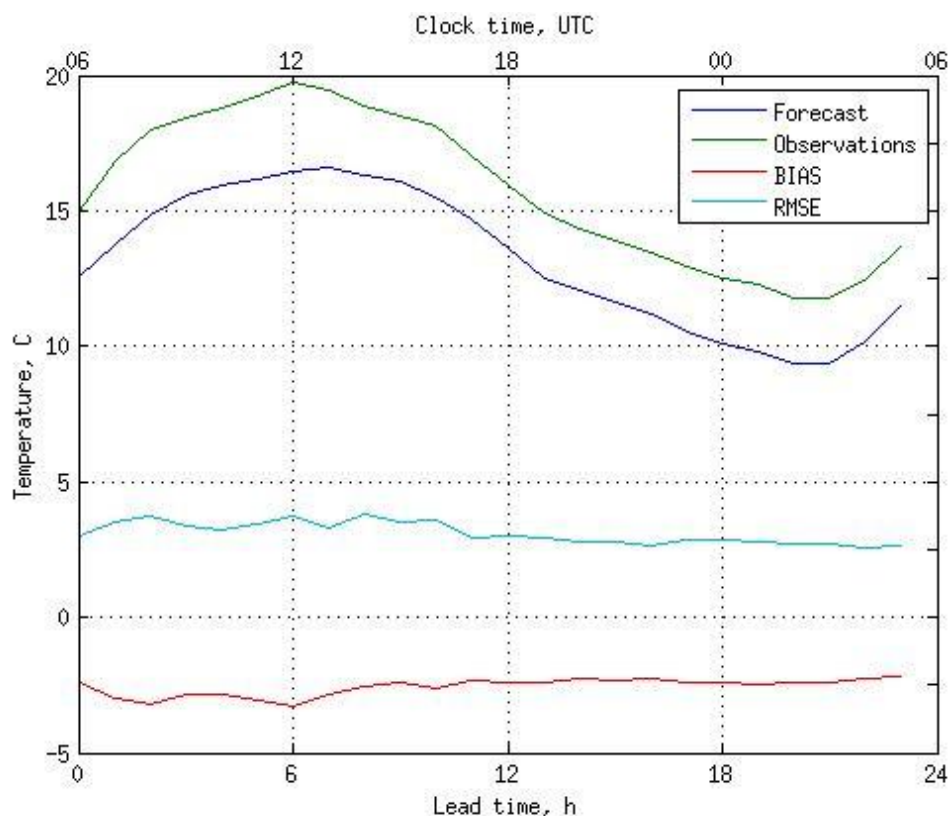
2.1. att. redzamas verifikācijas metrikas DMI HIRLAM prognozēm, kas atbilst Rīgas LU novērojumu stacijai 2012. gada maija mēnesim un prognozes sākums ir 00:00 UTC (03:00 pēc Latvijas laika). Šajā attēlā redzamas prognozes nākamajām 24 stundām. Uz x ass attēlots laiks stundās, kas vienlaicīgi atbilst gan tam laikam, ko rāda pulkstenis, gan starpībai starp prognozes izdarīšanas brīdi un brīdi, kam prognoze ir izdarīta. Katra pelēkā līnija atbilst kāda konkrēta datuma, piemēram, 1. maija, 2. maija, utt. prognozes atšķirībai no novērojumiem. Statiskās metrikas BIAS (Vidējās kļūdas) un RMSE ir aprēķinātas, apkopojot visas mēnesī izdarītās prognozes, taču katrai laiku starpībai atsevišķi. Redzams, ka lielākā daļa prognožu ir paredzējušas zemāku temperatūru kā novērots, un attiecīgi BIAS vērtība ir negatīva. RMSE vērtības ir pozitīvas un pēc skaitliskās vērtības tuvas 3C grādiem. Redzams, ka atsevišķām prognozēm ir ļoti liela pozitīva kļūda pēcpusdienā. Šāda situācija var rasties konvektīvo nokrišņu dēļ – ja realitātē ir nolijis prognozē neparedzēts lietus, tad vasaras mēnešos gaisa temperatūra strauji samazinās, kas neatspoguļojas prognozē, tādējādi dodot vairāku grādu pozitīvo kļūdu.

Lai būtu vieglāk interpretēt rezultātus, papildus verifikācijas metrikām bija nepieciešams attēlot arī prognožu un novērojumu vidējās vērtības. Šiem pašiem datiem tās attēlotas 2.2. att. Gan prognozes gan novērojumi labi reproducē sagaidāmo diennakts ciklu – dienas vidus ir siltāks nekā nakts, visaukstākā temperatūra ir tieši pirms saullēkta. Redzams, ka novērojumi ir lielāki (novērotas siltākas temperatūras) kā prognozes. Redzams arī, ka vislielākā atšķirība (pēc vērtības vislielākās BIAS) vērtības ir plkst. 12:00.



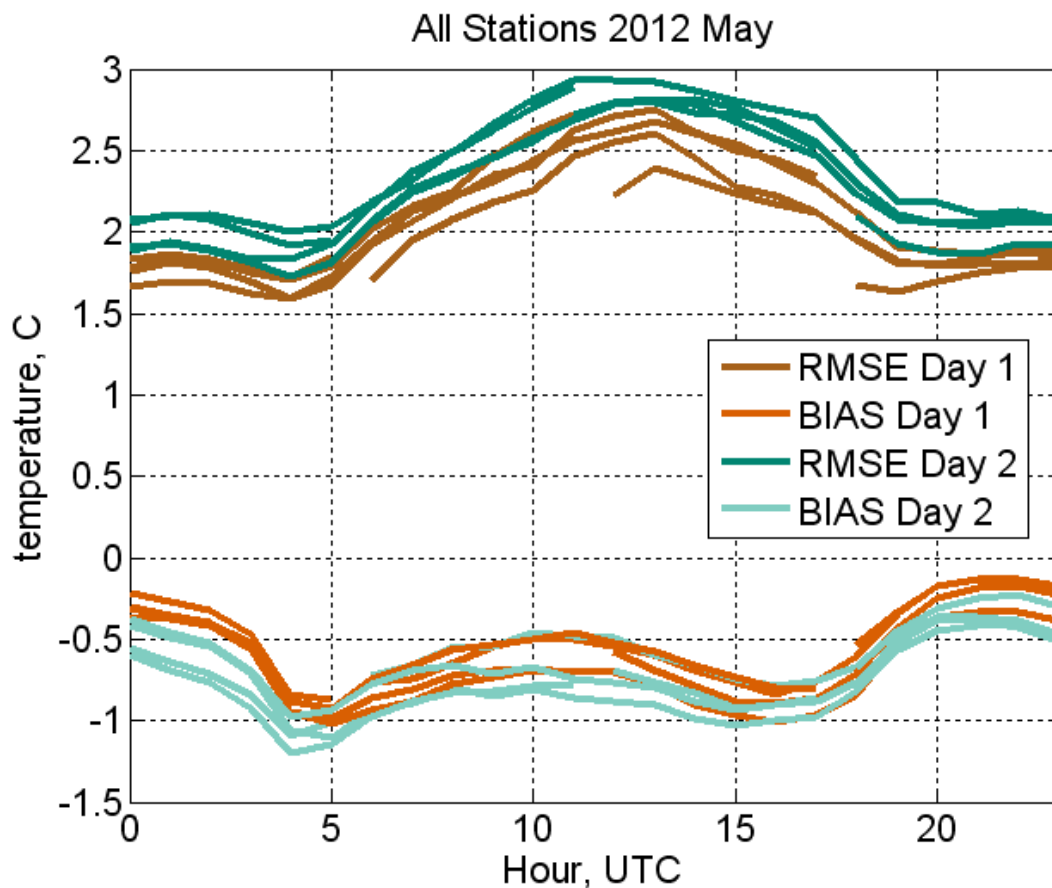
2.2. att. 2012. gada maija temperatūras prognožu (Forecast) un novērojumu (Observations) vidējās vērtības, kā arī verifikācijas metrikas – BIAS un RMSE.

Verifikācijas laikā tika secināts, ka kļūda ir galvenokārt saistīta ar diennakts ciklu. Tas noveda pie lēmuma par x ass DMI HIRLAM verifikācijas metrikās uzskatīt nevis laika starpību starp prognozes izdarīšanas brīdi un brīdi, kuram prognoze izdarīta, bet gan diennakts ciklam atbilstošo pulksteņa laiku. 2.3. att. redzama tā pati informācija, kas 2.2. att., taču prognozēm, kas izdarītas 06:00. Laika starpība redzama uz apakšējās x ass, uz augšējās x ass attēlots pulkstenim atbilstošais laiks.



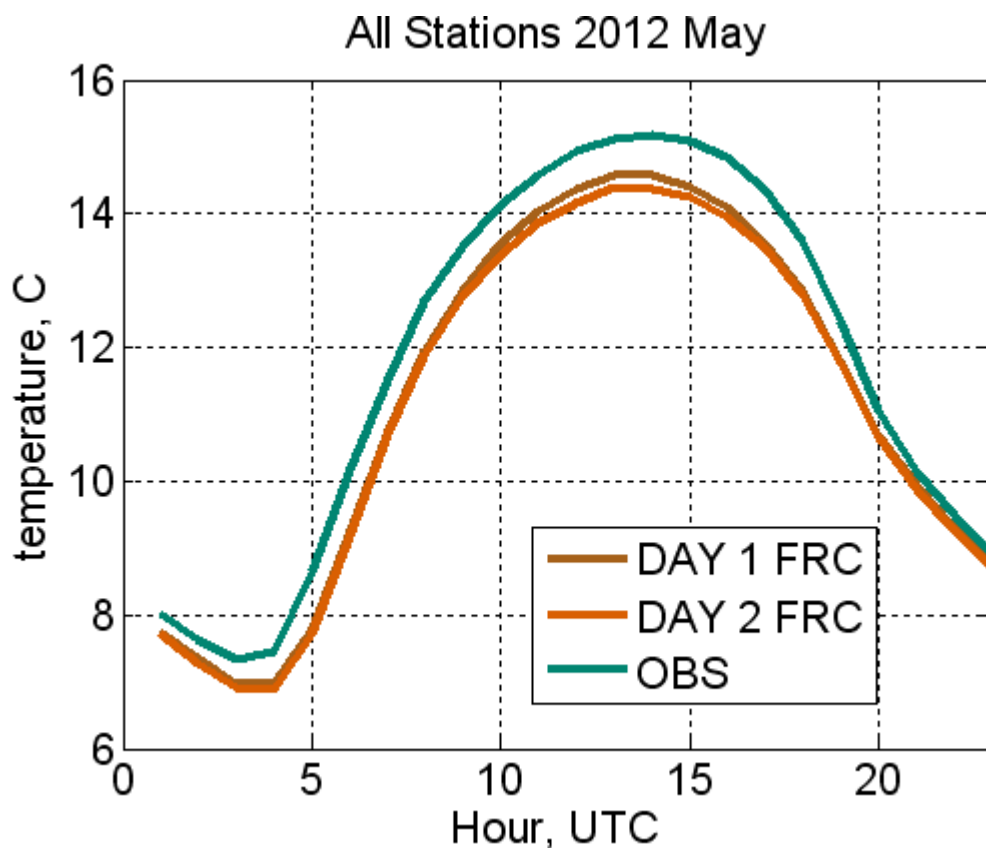
2.3. att. 2012. gada maija temperatūras prognožu (*Forecast*) un novērojumu (*Observations*) vidējās vērtības, prognozēm, kas izdarītas 6:00, kā arī verifikācijas metrikas – BIAS un RMSE.

Saprotams, ka pilnvērtīgai analīzei nepieciešams attēlot visu prognožu inicializācijas laiku prognozes vienā grafikā, skat 2.4. att.



2.4. att. 2012. gada maija temperatūras prognožu verificācijas metrikas DMI HIRLAM modelim- BIAS un RMSE, 0-24 h (Day 1), 25-48 h (Day 2).

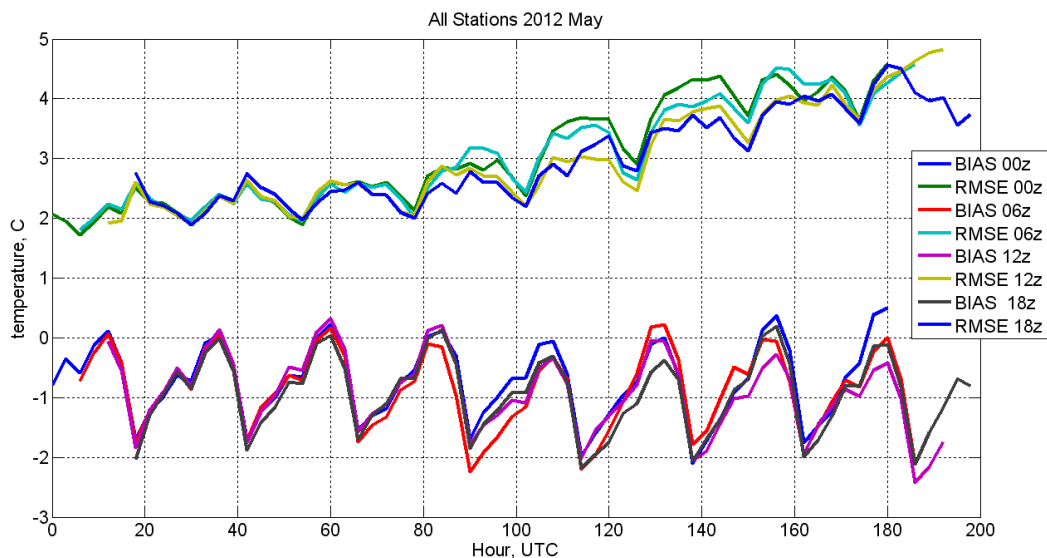
Attēlā 2.4. att. redzamas prognozes visiem inicializācijas laikiem (00:00, 06:00, 12:00 un 18:00) visām novērojumu stacijām 2012. gada maijā. Ar dažādām krāsām attēlotas prognozei pirmajai dienai (*Day 1*), kas atbilst 1 – 24 stundai no prognozes izdarīšanas brīža un otrās dienas (*Day 2*) prognozes, kas atbilst 25- 48 stundai no prognozes izdarīšanas brīža. Tāpat attēlā 2.4. att. redzams, ka diennakts cikla ietekme ir lielāka kā laika starpības ietekme. Redzams arī, ka otrajai dienai ir kopumā mazāks BIAS vērtības, lai arī RMSE pieaug.



2.5. att. 2012. gada maija DMI HIRLAM prognožu un novērojumu vidējās vērtības katrai diennakts stundai (diennakts cikls).

Apskatot diennakts cikla vidējās vērtības prognozei un novērojumiem (2.5. att.) iespējams izskaidrot BIAS līkņu formu. Modelis un novērojumi spēcīgi atšķiras diennakts aukstākajā laikā – 4:00 UTC (7:00 pēc Latvijas laika), kad modelis paredz stipri vēsākas temperatūras un noved pie lokālā BIAS minimuma. Tāpat atšķiras arī temperatūras pēcpusdienā – novērojumi rāda, ka vakari ir siltāki un temperatūra novērojumos nesamazinās tik strauji kā prognozes (BIAS minimums 16:00 UTC jeb 19:00 pēc Latvijas laika).

Būtu loģiski šo attēlošanas veidu vispārināt un pielietot GFS datiem, taču tā kā GFS prognozes ir septiņām dienām uz priekšu, tad $7 \times 4 = 28$ līkņu saimi vienā attēlā būtu neracionāli. Tā vietā (2.6. att.) tika pieņemts lēmums par pamatu x asij izvēlēties dabisko laika starpību starp prognozes izdarīšanas un piepildīšanās brīdi prognozēm kas izdarītas 00:00, taču nobīdīt 06:00, 12:00 un 18:00 izdarītās prognozes par attiecīgo stundu skaitu tā (6, 12 un 18), lai pulksteņa laiki sakristu.



2.6. att. GFS temperatūras prognožu verifikācijas metrikas. 2012. gada maijs. Visas novērojumu stacijas.

METODES DIHOTOMIEM DATIEM

Par dihotomiem mainīgiem sauc mainīgos, kas pieņem tikai divas vērtības, tipiski - 0 vai 1. Meteoroloģijā tam atbilstu lietus esamības vai neesamības prognoze, neinteresējoties par nolijušā lietus daudzumu. Lietus atšķiras no pārējiem meteoroloģiskajiem parametriem ar savu vērtību statistisko sadalījumu - aptuveni 90 % no ikstundas mērījumiem Latvijā lietus netiek konstatēts. Tāpēc, verificējot lietus prognozes, primārais jautājums ir - cik labi prognozes spēj paredzēt lietus esamību vai neesamību.

Lielākā daļa dihotomo verifikācijas metriku var tikt aprēķinātas no Iespējamību tabulas (Tabula 2.1) jeb „Contingency table”, kas aplūko visus iespējamus variantus. Ja prognožu sistēma paredzēja lietu, tad ir iespējami divi varianti - vai nu lietus tiešām realizējās, kas ir pozitīvais variants jeb trāpījums, vai arī lietus netika novērots un tāpēc prognoze uzskatāma par nepareizu (viltus trauksme). Ja lietus netika prognozēts, tad pozitīvi jāvērtē fakts, ka lietus neiestājās. Ja lietus tomēr ir novērots, notikums ir palaists garām.

Tabula 2.1. Iespējamību tabula.

	Novēroja lietu	Novēroja, ka nelīst
Prognozēja lietu	Trāpījums (<i>hits</i>)	Viltus trauksme (<i>false alarm / false positive</i>)
Prognozēja, ka nelīst	Palaists garām (<i>misses</i>)	Pareizs „nelīst” (<i>correct negative</i>)

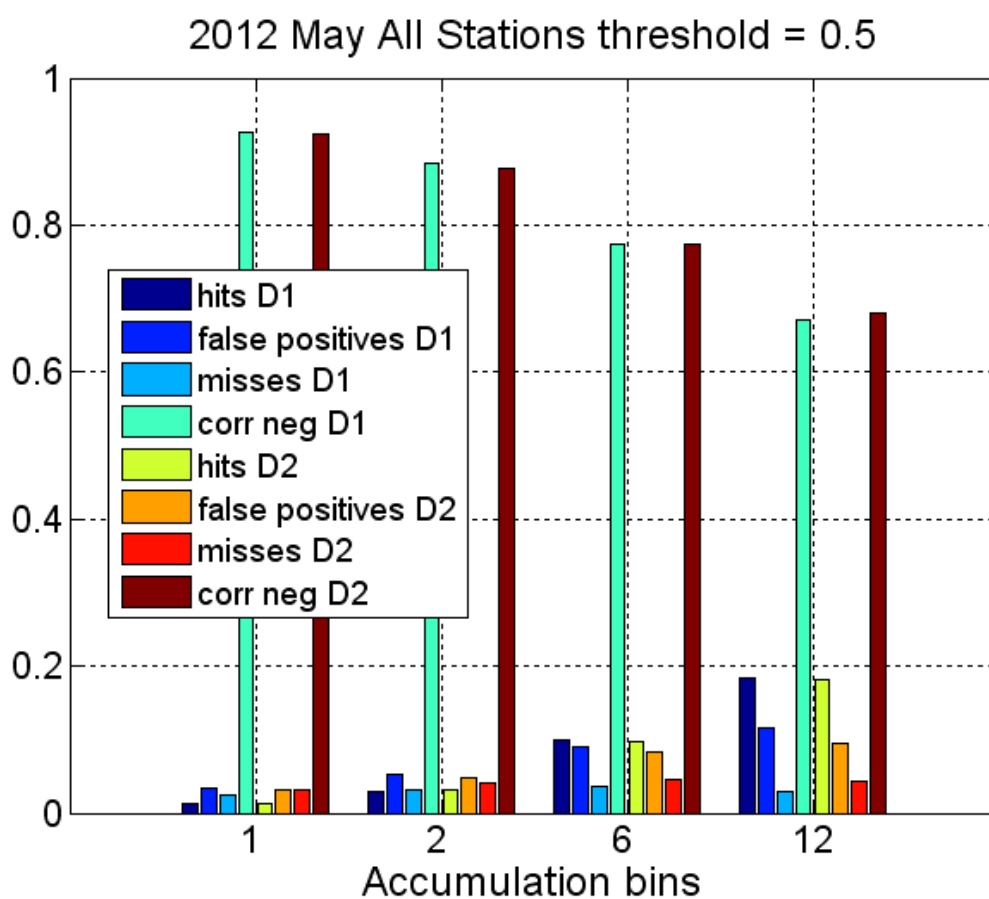
Nepieciešams apskatīt visus 4 lielumus, kas veido iespējamību tabulu, jo viegli iedomāties laika "prognozi" Latvijai, kas prognozētu tikai faktu, ka lietus nelīst. Šāda prognoze būtu "pareiza" aptuveni 90% gadījumu, bet viegli saprast, ka prognozes lietotājam šāda informācija nav noderīga.

Lai arī prognoze, kas spēj paredzēt lietus uzsākšanos ar stundas precizitāti, neapšaubāmi būtu vislietderīgākā patērētājiem, papildus tam verifikācija tika veikta arī citiem lietus akumulācijas intervāliem, jeb verificējot ne tikai kopējos nokrišņus vienas, bet arī divu, sešu, utt. stundu laikā. Analizējot šos rezultātus, jāņem vērā, ka varbūtība konstatēt lietu 6 stundu laikā pieaug salīdzinot ar 1 stundas rezultātiem.

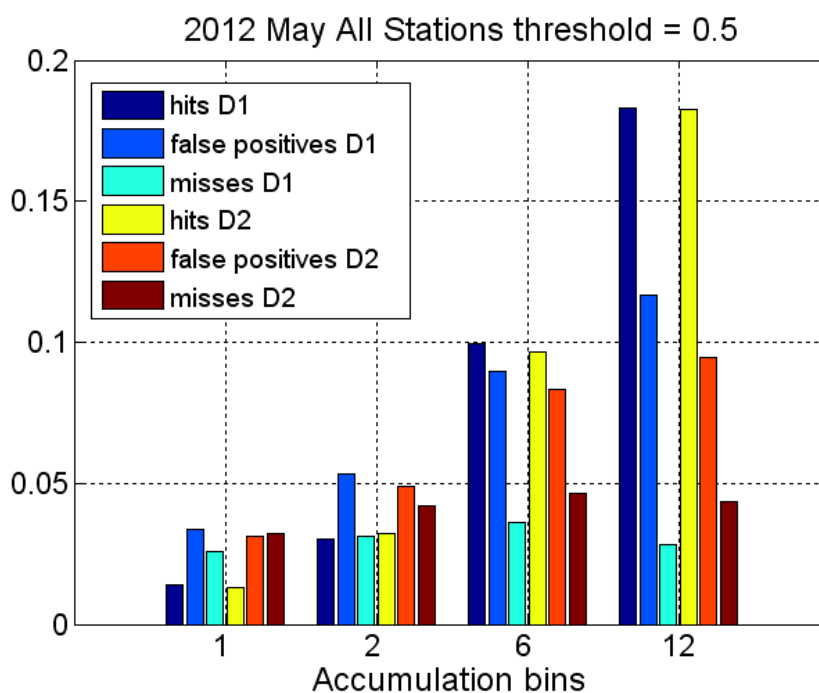
Apskatītās verifikācijas metrikas iespējams pielietot izmantojot dažādus sliekšņus (*threshold*), lai lietus intensitāti pārveidotu "Jā" vai "Nē" tipa apgalvojumos. Tādējādi ir iespējams novērtēt prognožu spēju prognozēt stipru lietu. Papildus tam ir jāņem vērā, ka lietus tiek mērīts ar 0.1 mm/h precizitāti (dažās stacijās 0.2 mm/h).

No meteoroloģijas zināms, ka ziemā un vasarā nokrišņiem tipiski ir dažādi izcelsmes mehānismi, turklāt vasarā nokrišņus galvenokārt veido konvektīvie procesi pretstatā lielas skalas sinoptiskajiem procesiem ziemā, tāpēc sagaidāms, ka vasarā lietus prognozes būs ar sliktāku kvalitāti kā ziemā.

Nokrišņu verifikācijas piemērs redzams 2.7. att. Redzams, ka rezultātos dominē pareizi prognozēti "nelīst" (2.7. att. a), tāpēc precīzākai analīzei dažkārt ieteicams attēlot tikai pārējās iespējamību tabulas sadaļas (2.7. att. b).



a)



b)

2.7. att. Nokrišņu verifikācija 2012. gada maijā. Visas novērojumu stacijas. Jā/Nē sliekšnis - 0.5 mm/h. Nokrišņu akumulācija pa 1h, 2h,6h un 12h intervāliem. Atsevišķi apskatītas prognozes pirmajai dienai D1 (0 ... 24h) un otrajai dienai D2 (25 ... 48h). a) visas iespējamību tabulas iedaļas, b) visas izņemot "pareizs nelīst".

2.7. att. a. parāda, ka izmantojot akumulāciju pa 1h –vairāk nekā 90 % gan pirmajā, gan otrajā prognozes dienā atbilst „pareizs nelīst” situācijai. Palielinot akumulācijas periodu no 1h līdz 12h – „pareizs nelīst” situāciju īpatsvars abās prognozes dienās samazinās no 90 % līdz apmēram 70% savukārt 1) būtiski pieaug trāpījumu īpatsvars; 2) trāpījumu īpatsvars kļūst lielāks par īpatsvaru situācijām „palaists garām” (mazākā mērogā tas uzskatāmi attēlots 2.7. att. b.)

KVALITĀTES NOVĒRTĒJUMI (*SKILL SCORES*)

Lai arī iespējamību tabula labi apkopo un ilustrē verifikācijas datus, tomēr tai ir 3 neatkarīgas dimensijas, tas ir, lai salīdzinātu dažādas prognozes, piemēram, tādas, kas attiecas uz dažādiem laika periodiem vai ir dažādiem ievades parametriem, ir jāsalīdzina trīs skaitļi katrai salīdzināmajai prognozei. Līdz ar to ir izstrādāts liels skaits metožu, kā no šīm četrām iespējamību tabulas vērtībām iegūt vienu vērtību – kvalitātes novērtējumu, kas ļautu vieglāk salīdzināt dažādas prognozes.

Mēs apskatīsim divus kvalitātes novērtējumus (*Skill scores*). Galvenā šo kvalitātes novērtējumu īpašība ir tā, ka tie attēlo prognozes precizitāti attiecībā pret kādu noteiktu references kontrolprognožu kopu.

$$KN = \frac{M - M_{ref}}{M_{perf} - M_{ref}} \times 100\%,$$

kur:

- M – precizitātes mērs, piemēram RMSE;
- M_{ref} – precizitātes mērs references prognozēm;
- M_{perf} – precizitātes mērs perfektām prognozēm.

Līdz ar to izpildās:

$$KN = 100\%, \text{ ja } M = M_{perf};$$

$$KN = 0, \text{ ja } M = M_{ref}, \text{ (nekvalitatīva prognoze).}$$

Lai vieglāk salīdzinātu lietus prognozes pret novērojumiem, tika izvēlēti un pielietoti Heidkes un Hansena-Kuipera diskriminanta kvalitātes novērtējumi.

Heidkes kvalitātes novērtējums (*Heidke skill score*)

Šis novērtējums salīdzina pārbaudāmās prognozes precizitāti ar prognozi, kas ģenerēta ar gadījuma iespēju (*random*). Tas ir, gadījuma prognozei references mērs tiek iegūts sekojoši:

Varbūtība pareizai gadījuma prognozei, ka ir lietus:

$$P_{lietus} = \frac{a+b}{n} \cdot \frac{a+c}{n}.$$

Savukārt varbūtība pareizai gadījuma prognozei, ka nebija lietus:

$$P_{nav\ lietus} = \frac{b+d}{n} \cdot \frac{c+d}{n},$$

kur

- a – trāpījums;
- b – viltus trauksme;
- c – palaists garām;
- d – pareizs „nelīst”;
- n – kopējais prognožu (novērojumu) skaits.

Līdz ar to pieņemot, ka:

- $M_{ref} = P_{lietus} + P_{nav\ lietus};$
- $M = \frac{a+d}{n};$
- $M_{perf} = 1.$

Mēs iegūsim, ka Heidkes kvalitātes novērtējums ir aprēķināms kā:

$$HKV = \frac{2(ad - bc)}{(a+c)(c+d) + (a+b)(b+d)}.$$

Šis novērtējums pieņem vērtības intervālā no $-\infty$ līdz 1, kur 1 apzīmē perfektu prognozi, savukārt negatīvas vērtības nozīmē, ka prognoze ir sliktāka nekā gadījumskaitļa prognoze, kas ir statistiski neatkarīga no novērojumiem.

Hansena - Kuipera diskriminants (*Hanssen – Kuipers discriminant*)

Hansena – Kuipera diskriminants (*Hanssen – Kuipers discriminant*) tiek aprēķināts pēc šādas formulas:

$$HKD = \frac{a}{a + c} - \frac{b}{b + d}$$

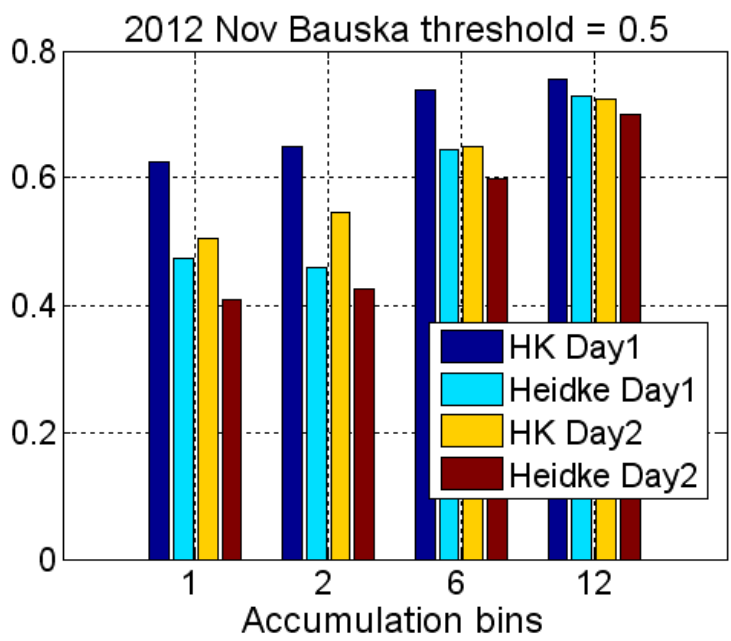
kur

- $\frac{a}{a+c}$ – apzīmē attiecību starp pareizi prognozētām lietu pret visiem gadījumiem, kad ir lijis.
- $\frac{b}{b+d}$ – apzīmē attiecību starp viltus trauksmes gadījumiem, pret visiem gadījumiem, kad nav lijis.

Šis novērtējums nosaka, cik labi prognoze atdala notikumus „lietus” un „nav lietus”, un ļauj novērot vai notikuma prognozēšana biežāk noved pie ievērojama viltus trauksmes skaita pieauguma vai nē. Šis novērtējums primāri ir piemērots gadījumiem, kas nav ļoti reti. Lai arī šim novērtējumam nav klasiska kvalitātes novērtējuma forma, tas tik un tā tiek par tādu uzskatīts. Tas parāda trāpījumu attiecību pret viltus trauksmju skaitu, un ir pozitīvs, kamēr vien trāpījumu īpatsvars ir lielāks nekā viltus trauksmes gadījumu īpatsvars.

Atšķirībā no Heidkes kvalitātes novērtējuma, Hansena-Kuipera diskriminantam novērtējuma skaitliskā vērtība pareizas prognozes gadījumā pieaug vairāk, ja tiek prognozēts retāks gadījums, un atbilstoši skaitliskā vērtība palielinās par mazāk, ja tiek prognozēts ne tik rets gadījums.

Hansena-Kuipera diskriminants pieņem vērtības intervālā no -1 līdz 1, kur 1 apzīmē perfektu prognozi, savukārt 0 apzīmē nelietderīgu prognozi. Abu kvalitātes novērtējumi piemēri ir redzami 2.8. att. Redzams, ka kvalitātes novērtējumu vērtības samazinās palielinoties prognozes ilgumam – otrās dienas prognozēm ir mazāka kvalitātes novērtējumu skaitliskā vērtība, kas reflektē prognožu kvalitātes samazināšanos.



2.8. att. Lietus prognožu kvalitātes novērtējums DMI prognoze, Bauska, 2012. gada novembris. Sliekšņa vērtība - 0.5 mm/h, uz horizontālās ass lietus akumulācija pa 1h, 2h, 6 un 12 h.

3. REZULTĀTI

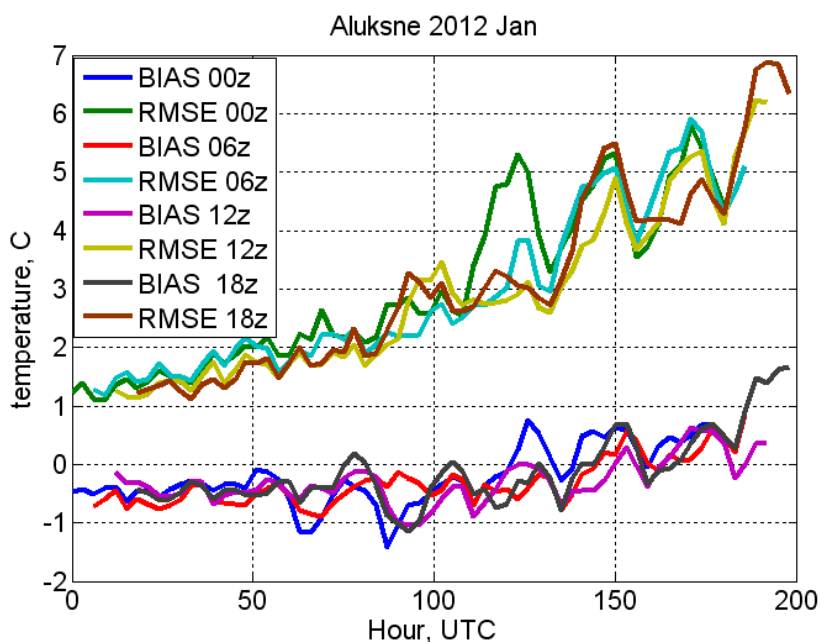
TEMPERATŪRA

Veicot verifikāciju gaisa temperatūras modeļprognozēm pret LVĢMC novērojumiem, iespējams izdarīt vairākus secinājumus.

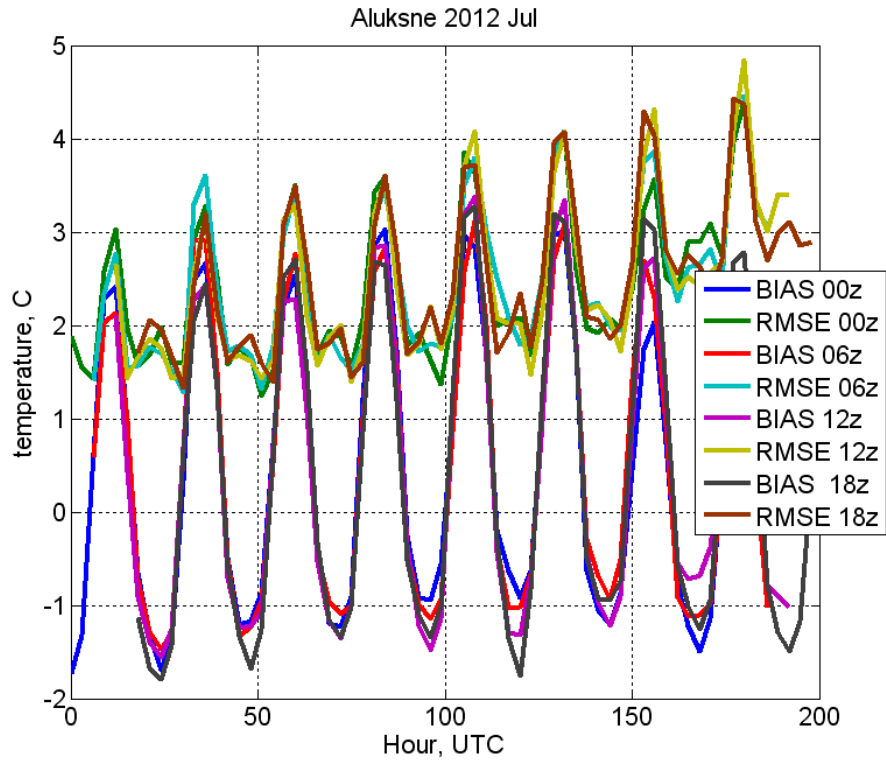
Lielākajā daļā staciju BIAS ir periodisks un atkarīgs no diennakts stundas. Tas, iespējams, liecina par BIAS atkarību no gaisa temperatūras vērtības, vai arī norāda uz problemātiku modeļi izmantotajās parametrizācijas shēmās, kas saistītas ar zemes virsmas procesu parametrizācijām. Papildus tam piejūras stacijās jāņem vērā Baltijas jūras temperatūras prognozēšanas kļūda.

Veicot verifikāciju GFS modeļprognozēm var secināt, ka BIAS atkarībā no stacijas un mēneša, par kuru tiek veikta verifikācija, var būt gan pozitīvs, gan negatīvs. Redzams arī, ka lielā daļā staciju BIAS dažādu gadu vienā un tajā pašā sezonā ir līdzīgs.

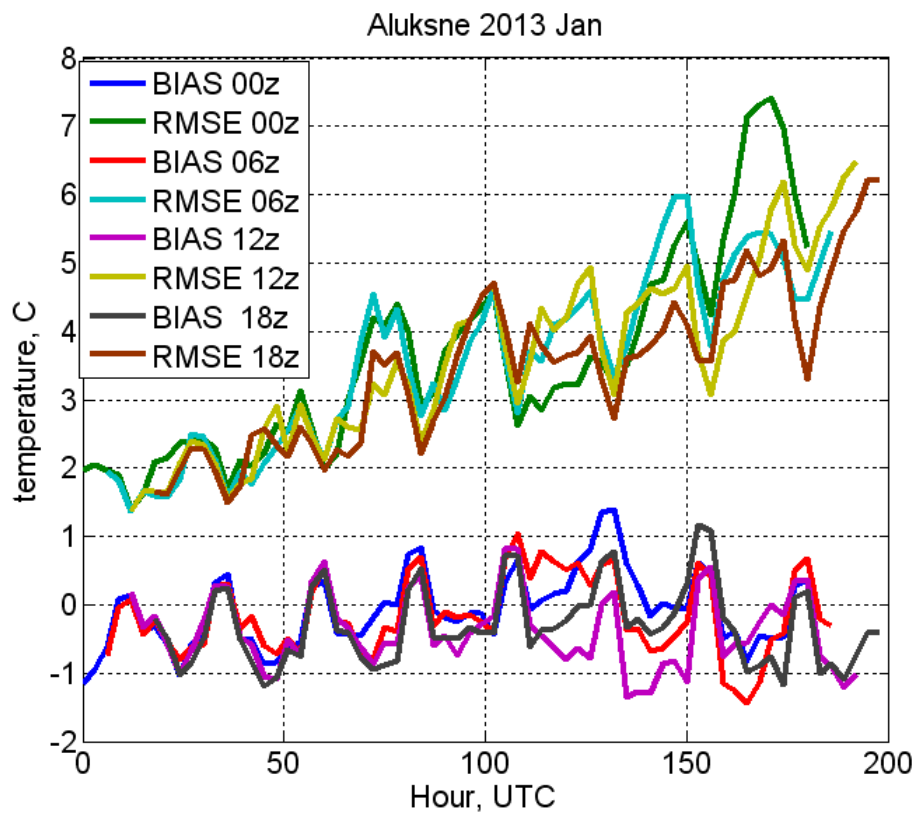
Šāds piemērs ir redzams 3.1. att., 3.2. att. un 3.3. att., kur ir redzama Alūksnes stacijas verifikācija pret GFS modeļprognozēm. Pirmkārt, šajos attēlos ir redzams jau iepriekšējā punktā pieminētais diennakts periodiskums. It īpaši izteikts tas ir jūlijā, kur viegli secināt, ka BIAS ir nozīmīga sastāvdaļa kopējā kļūdā (RMSE). Otrkārt, var izdarīt secinājumus, ka starpgadu mainība ir mazāka kā mainība starp mēnešiem - BIAS ir līdzīgs 2012. un 2013. gada janvārī, bet būtiski atšķirīgs 2012. gada janvārī un jūlijā. Treškārt, periodiskums nav atkarīgs no starpības laika (*lead time*). Atbilstoši sagaidāmajam RMSE pieaug, jo tālākam laikam ir veikta prognoze.



3.1. att. GFS gaisa temperatūras prognožu verifikācija, Alūksne, 2012. gada janvāris.



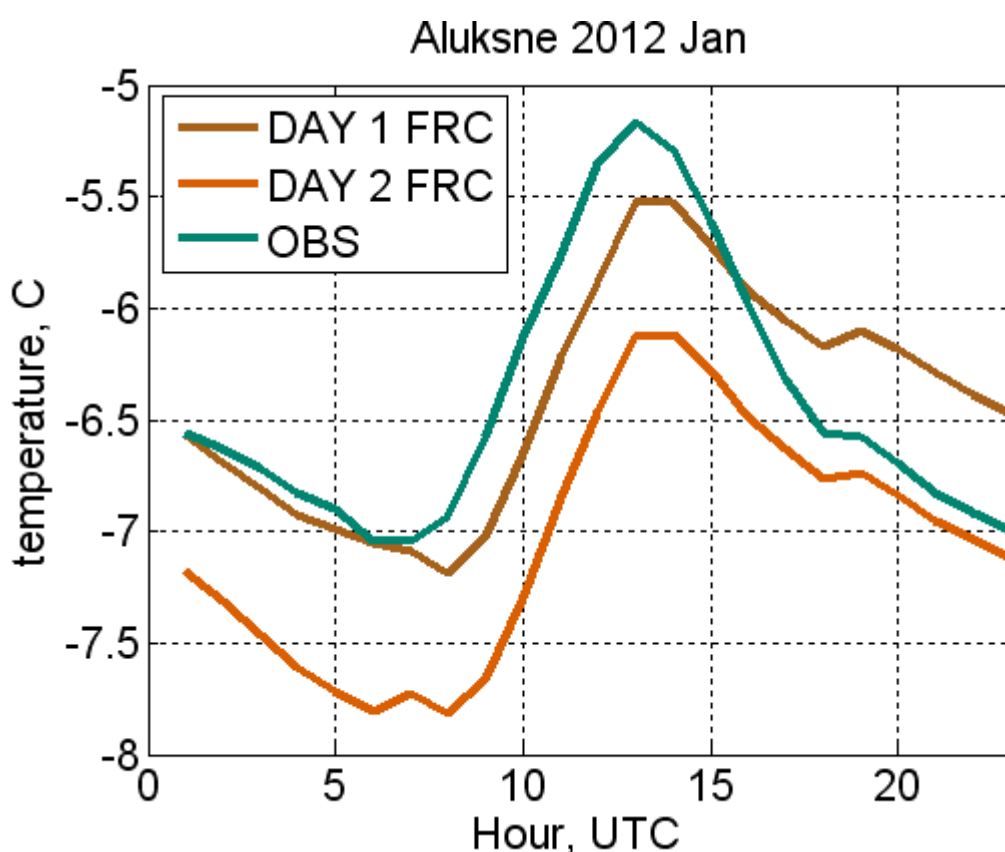
3.2. att. GFS gaisa temperatūras prognožu verifikācija, Alūksne, 2012. gada jūlijs.



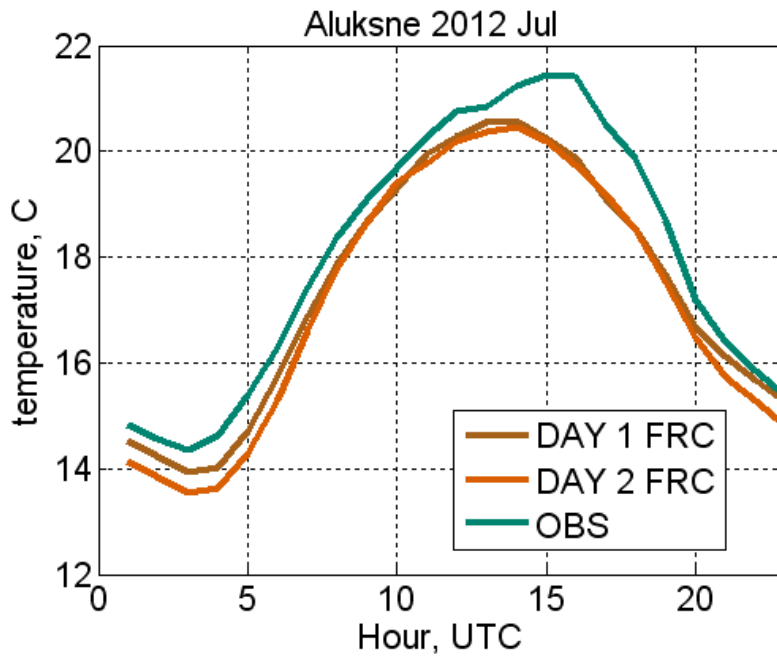
3.3. att. GFS gaisa temperatūras prognožu verifikācija, Alūksne, 2013. gada janvāris.

Veicot verifikāciju DMI modeļprognozēm līdzīgi varēja novērot, ka BIAS atkarībā no stacijas un mēneša, par kuru tiek veikta verifikācija, var būt gan pozitīvs, gan negatīvs. Atšķirībā no GFS prognozēm, DMI prognozēm BIAS daudz biežāk svārstās ap nulli. Jo īpaši ir novērojams, ka DMI verifikācijā BIAS pēc absolūtās vērtības ir mazāks vasarā, ja to salīdzina ar GFS verifikācijas BIAS.

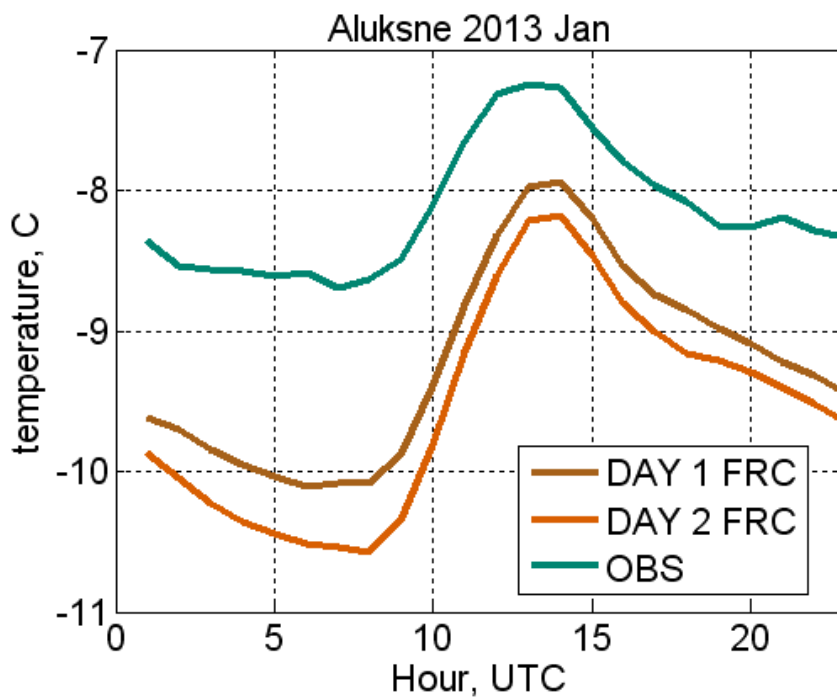
Piemēram, aplūkojot modeļu un novērojumu piedāvāto mēneša vidējo diennakts ciklu Alūksnes stacijai (3.4. att. - 3.6. att.), redzams, ka 1) BIAS 2012. gada ziemā ir pieņēmis gan pozitīvas, gan negatīvas vērtības, savukārt 2013. gada ziemā vērtības ir tikai negatīvas. 2013. gada ziema bija kopumā aukstāka, tāpēc turpmākajos pētījumos vērts pievērst uzmanību BIAS atkarībai no temperatūras. Papildus tam jāņem vērā, ka ziemā aukstākas naktis ir saistītas ar skaidrām debesīm un tāpēc būtu vērts izpētīt mākoņainības prognozes īpatnības, jo 2013. gada janvārī novērojumi apgalvo, ka visu nakti temperatūra saglabājas praktiski nemainīgi, kamēr prognozēs redzams temperatūras minimums pirms saullēkta; 2) BIAS jūlijā pēc absolūtās vērtības ir mazāks nekā GFS verifikācijas BIAS absolūtā vērtība, kas loģiski seko no DMI mazākā režģa izmēra.



3.4. att. DMI gaisa temperatūras prognožu un novērojumu diennakts cikls. Alūksne, 2012. gada janvāris.



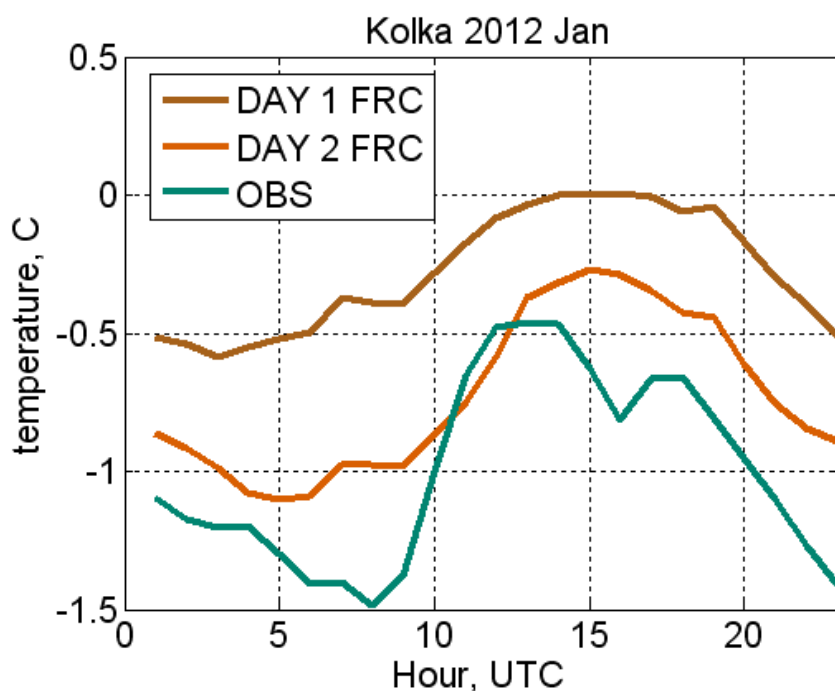
3.5. att. DMI gaisa temperatūras prognožu un novērojumu dienakts cikls. Alūksne, 2012. gada jūlijs.



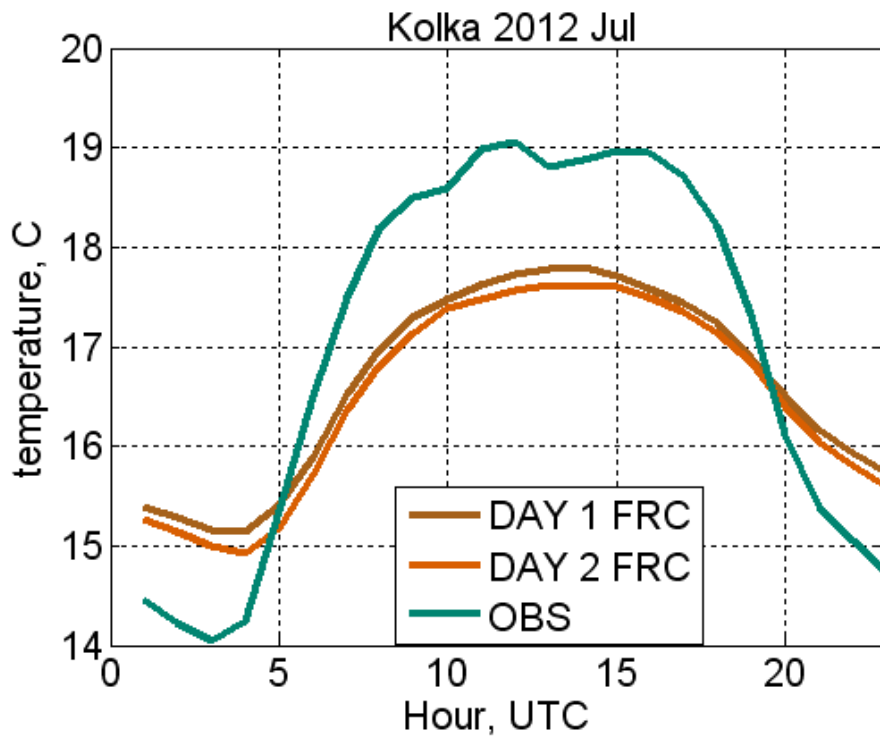
3.6. att. DMI gaisa temperatūras prognožu un novērojumu dienakts cikls. Alūksne, 2013. gada janvāris.

DMI prognozēm atšķirībā no GFS prognozēm nav tik izteikta BIAS sezonālitate (atkarība no gada mēneša). Vasaras mēnešos BIAS dažādos gados ir līdzīgs. Savukārt ziemas mēnešos savstarpēja starpgadu līdzība nav novērojama. BIAS 2013. gada ziemas mēnešos ir vairāk negatīvs nekā 2012. gada ziemā.

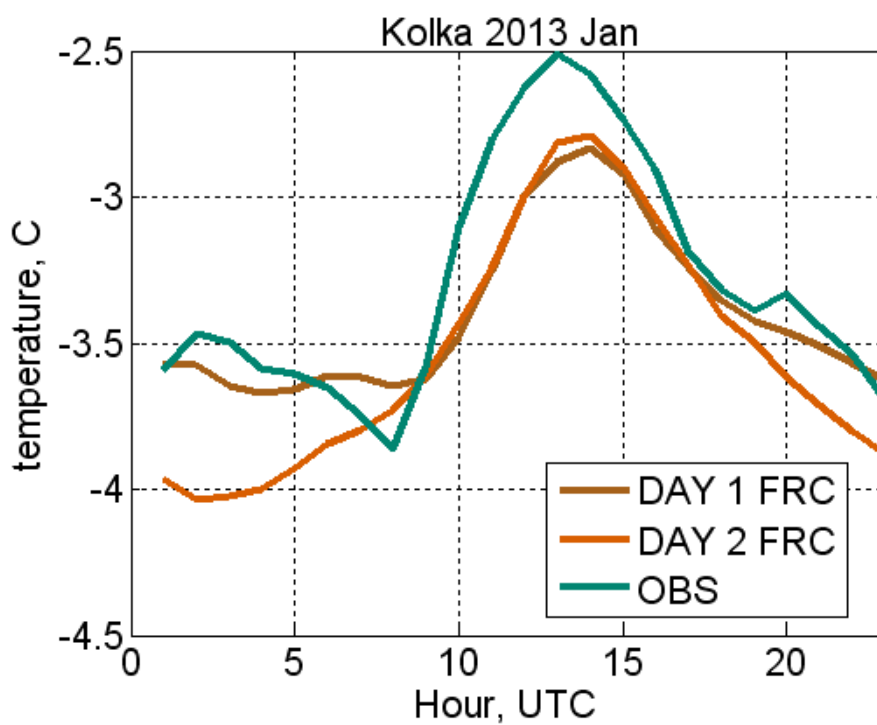
Līdzīgus secinājumus var izdarīt par piejūras stacijām, piemēram Kolku (3.7. att. - 3.10. att.), proti BIAS struktūra ir līdzīga abu gadu jūlija mēnešiem, taču janvāra mēnesim lielāka atšķirība novērojama 2013. gada janvārim. Jāatzīmē, ka piejūras staciju analīzē jāņem vērā tas, ka temperatūras lēcieni uz jūras / sauszemes robežas modeli var būt mazāk izteikti kā realitātē. Piemēram, Kolkas stacijas gadījumā jūlijā rodas iespaids, ka modelis apraksta punktu, kas atrodas vairāk jūras virzienā, kā novērojumi - redzams, ka diennakts temperatūras svārstībām ir mazāka amplitūda (3.8. att. - 3.10. att.).



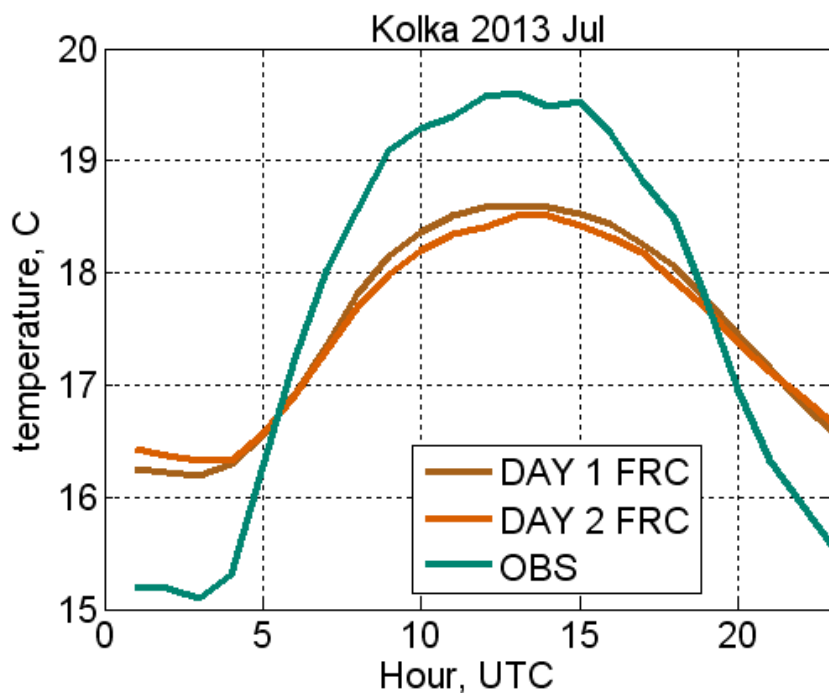
3.7. att. DMI gaisa temperatūras prognožu un novērojumu diennakts cikls. Kolka, 2012. gada janvāris.



3.8. att. DMI gaisa temperatūras prognožu un novērojumu diennakts cikls. Kolka, 2012. gada jūlijs.

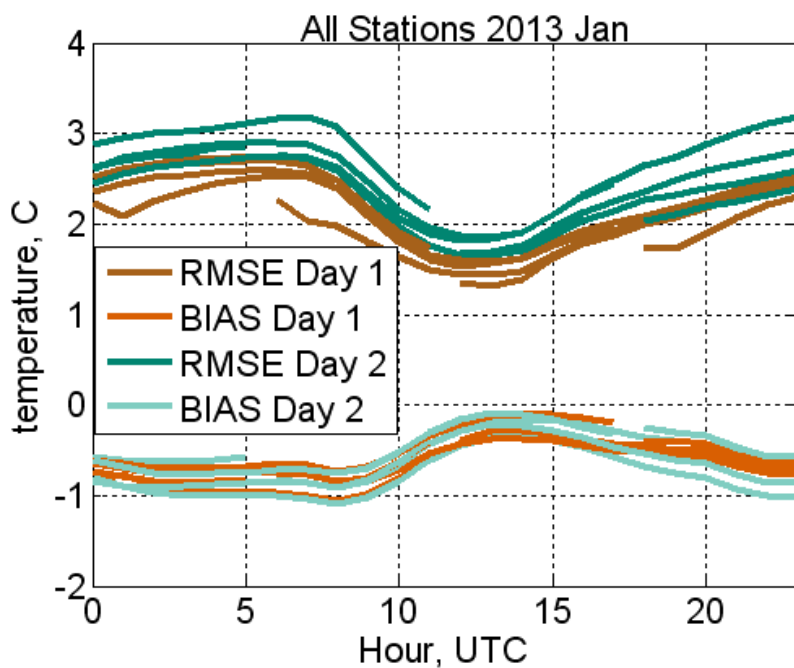


3.9. att. DMI gaisa temperatūras prognožu un novērojumu diennakts cikls. Kolka, 2013. gada janvāris.

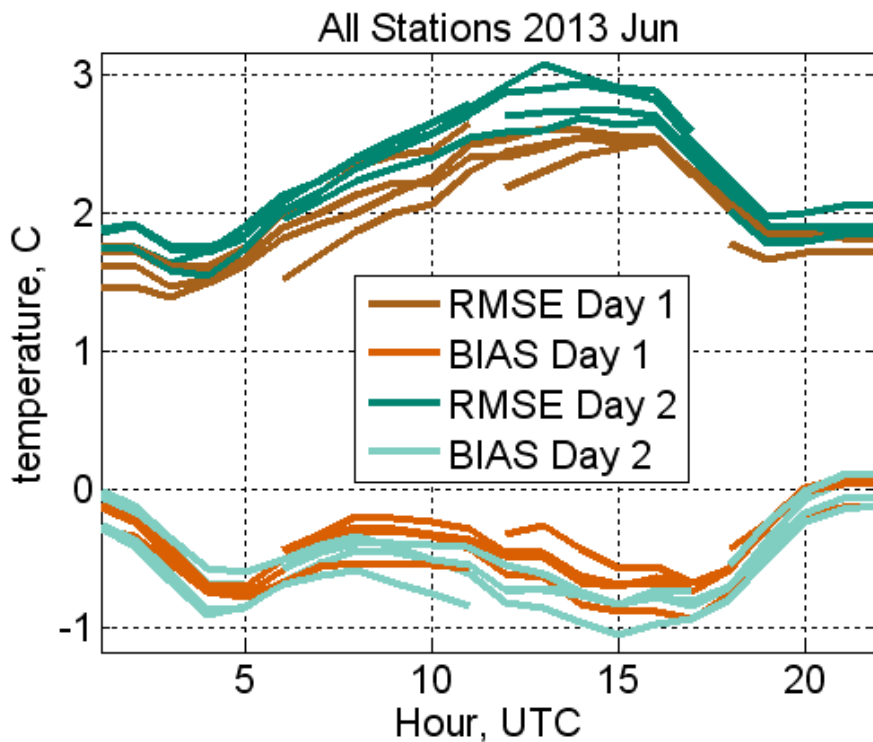


3.10. att. DMI gaisa temperatūras prognožu un novērojumu diennakts cikls. Kolka, 2013. gada jūlijs.

Iepriekš apskatītie rezultāti attiecās uz diennakts cikla vidējām vērtībām. Apskatot kopējās BIAS un RMSE vērtības, kas ir vidējotas pa visām stacijām, var secināt, ka tipiskās RMSE vērtības ir 1 ... 3 C, taču dažādās sezonās maksimālās kļūdas ir dažādos pulksteņa laikos. Ziemas sezonā maksimālā kļūda ir no rīta (3.11. att.), kamēr vasaras sezonās - pēcpusdienā (3.12. att.).



3.11. att. DMI gaisa temperatūras prognožu verifikācija, visas stacijas, 2013. gada janvāris.



3.12. att. DMI gaisa temperatūras prognožu verifikācija, visas stacijas, 2013. gada jūnijs.

Pēc veiktās datu verifikācijas, kurā bieži ir redzams regulārs BIAS, var secināt, ka eksistē sistemātiskā kļūda, kuras cēlonis var būt gan modeļa, gan meteoroloģiskajās stacijās veikto mērījumu neprecizitāte. Šī iespējamā sistemātiskās kļūdas eksistence būtu jāņem vērā, veicot modeļprognožu pēcapstrādi un ar tiem saistītu prognožu apstrādi. Iespējams būtu jāveic šo modeļprognožu statistika apstrāde.

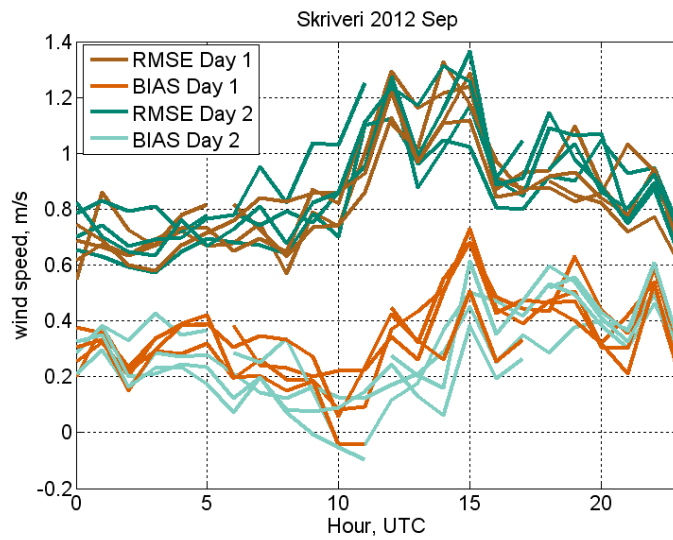
Apskatot statistikas metodes modeļprognožu pēcapstrādei, būtu jāņem vērā, ka sistemātiskā kļūda ir atkarīga gan no individuālas stacijas, gan no mēneša un iespējams dienas stundas vai arī aptuvenā intervāla, kurā tobrīd atrodas temperatūra.

VĒJŠ

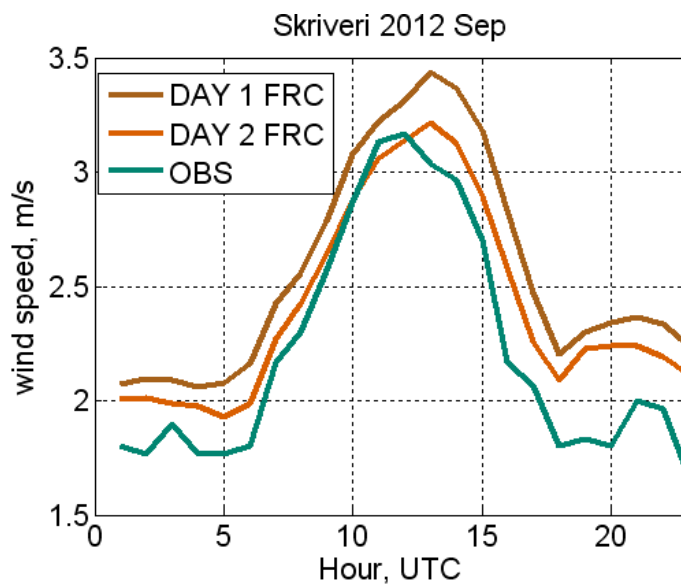
Veicot verifikāciju vēja temperatūras modeļprognozēm pret LVĢMC novērojumiem, tika izdarīti šādi secinājumi:

1. Gan GFS, gan DMI prognozēm visās stacijās BIAS vērtības bija vai nu pozitīvas, vai nu tuvas nullei.

3.13. att., 3.14. att. un 3.15. att. redzama DMI prognožu verifikācija Skrīveru stacijai, kas atrodas iekšzemē un divām piejūras stacijām – Daugavgrīvai un Skultei. Redzams, ka iekšzemes stacijai (3.13. att.) novērojams izteikts vēja diennakts cikls (3.13. att. b.) – maksimālais vēja ātrums novērojums dienas vidū un modeļprognozes un novērojumi relatīvi labi sakrīt, (3.13. att. a.), kas kopumā dod RMSE vērtību ~ 1 m/s. Piejūras stacijām diennakts cikls nav novērojams un atkal modeļprognozes šajā aspektā saskan ar novērojumiem, taču jāsecina ka BIAS un attiecīgi RMSE skaitliskās vērtības stipri atšķiras dažādās stacijās. Daugavgrīvā (3.14. att.) RMSE skaitliskā vērtība ir tuva 2 m/s, taču Skultē (3.15. att.) tā sasniedz 4 m/s, kas ir ļoti liels skaitlis, ņemot vērā, to ka tipiskais novērotais vēja ātrums Skultes stacijā ir 3.5 - 4 m/s. Šādu rezultātu nepieciešams interpretēt ļoti uzmanīgi, jo nav iemesla, kādēļ modelim (prognozei) būtu pēkšņi jāpasliktinās noteiktās vietās. Tāpēc būtu jāanalizē reprezentācijas kļūda – fakts, ka modelis prognozē režģa šūnas vidējo vērtību, bet novērojums ir piesaistīts konkrētai vieta, vai arī mērījumu neprecizitātes.

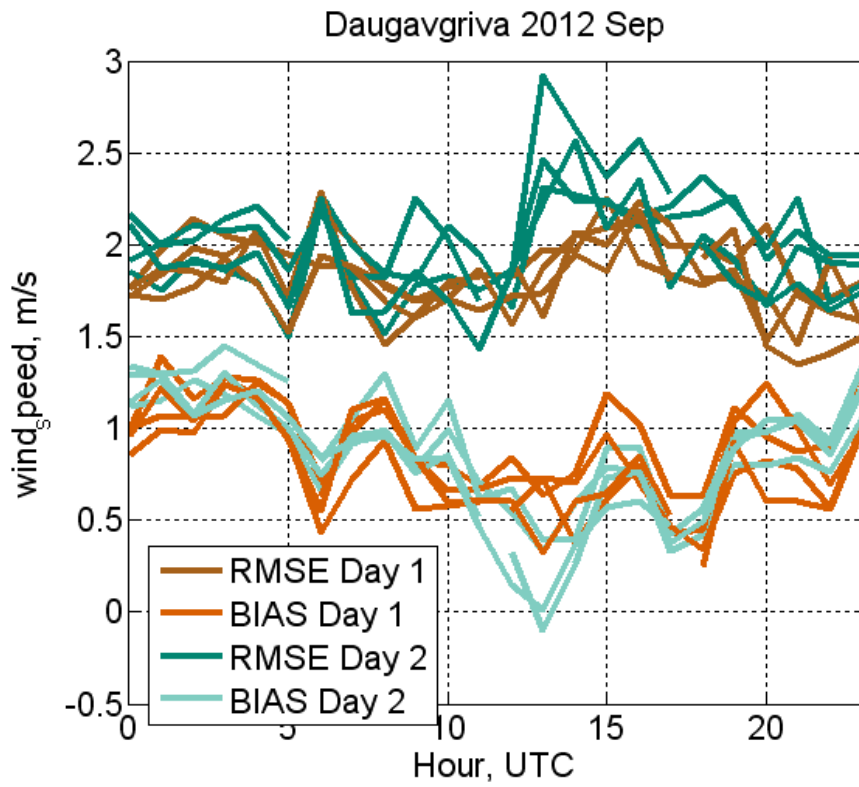


a)

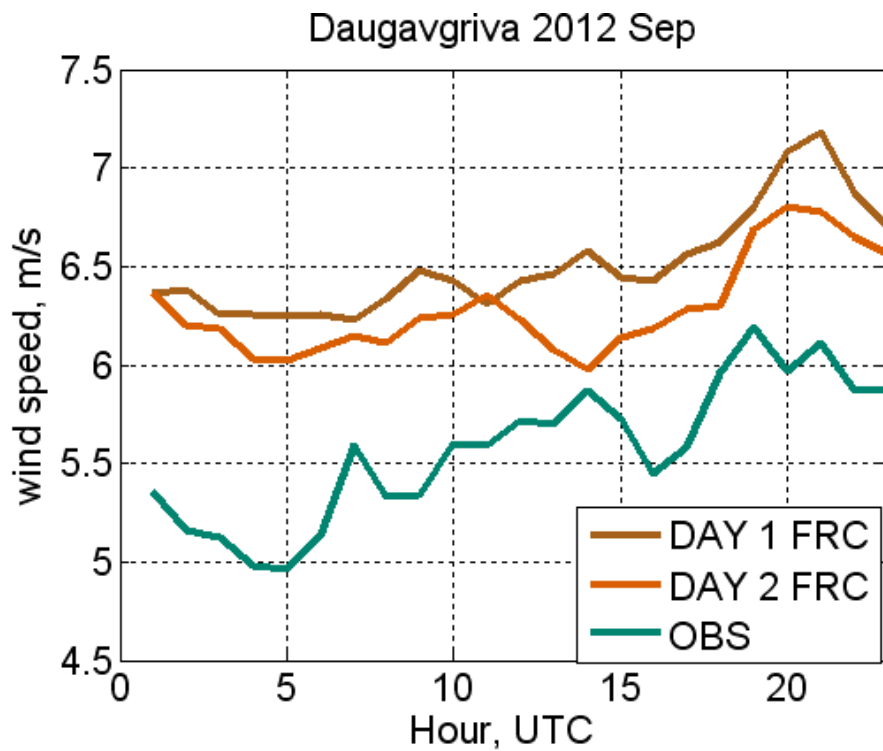


b)

3.13. att. DMI vēja ātruma prognožu a) verifikācija un b) ik stundas vidējo vērtību salīdzinājums, Skrīveri, 2012. gada septembris.

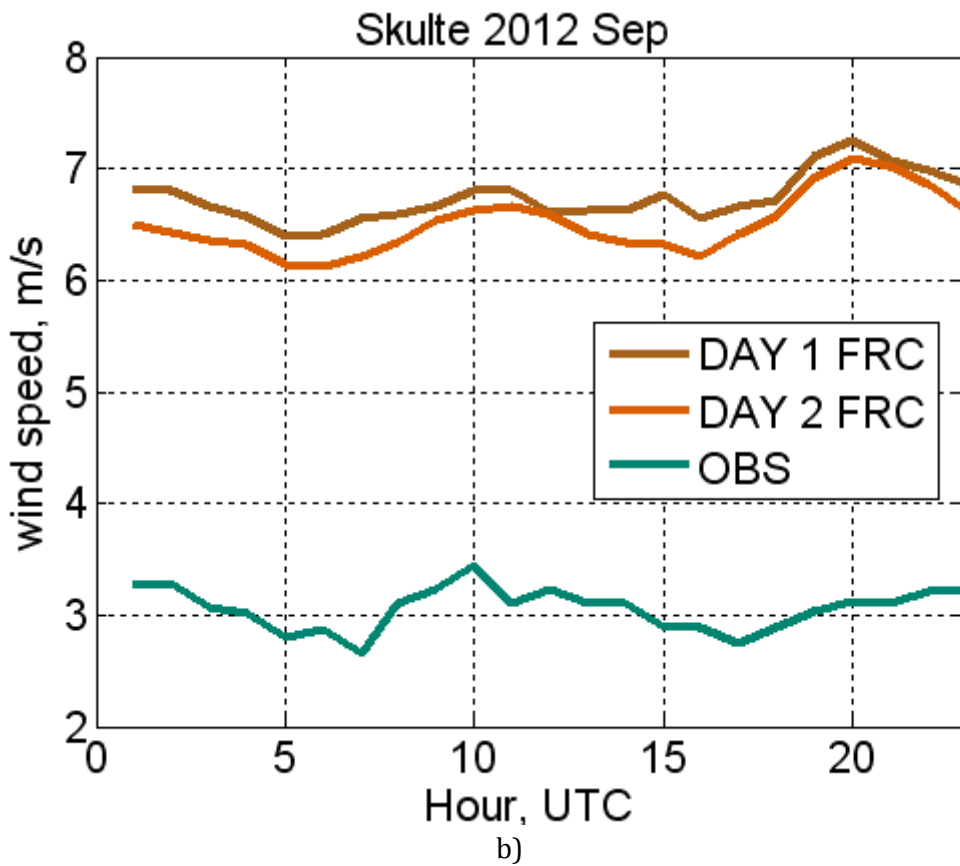
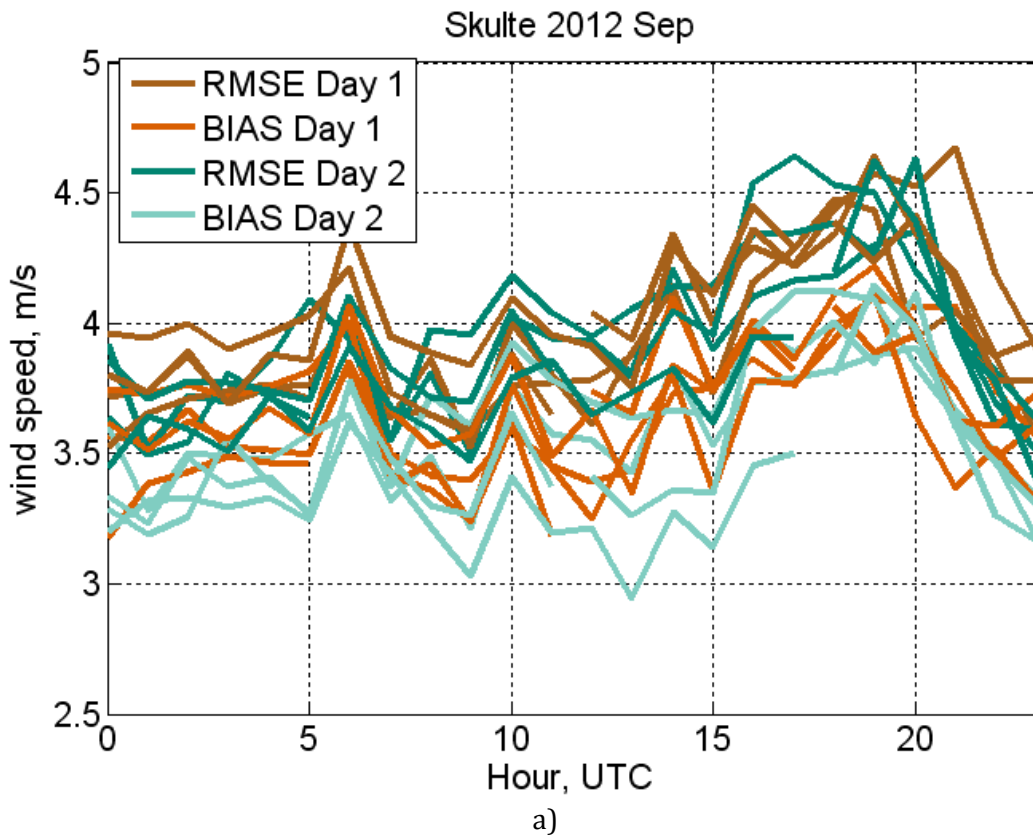


a)



b)

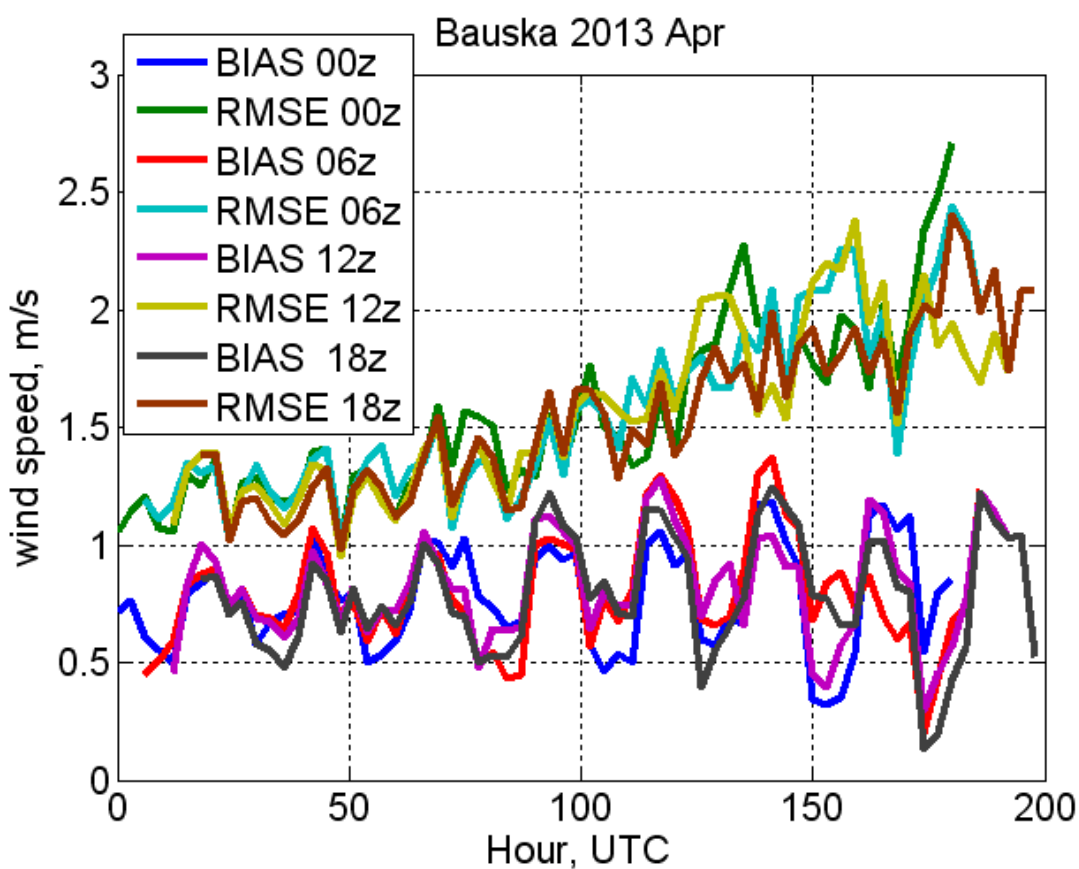
3.14. att. DMI vēja ātruma prognožu a) verifikācija un b) ik stundas vidējo vērtību salīdzinājums, Daugavgrīva, 2012. gada septembris.



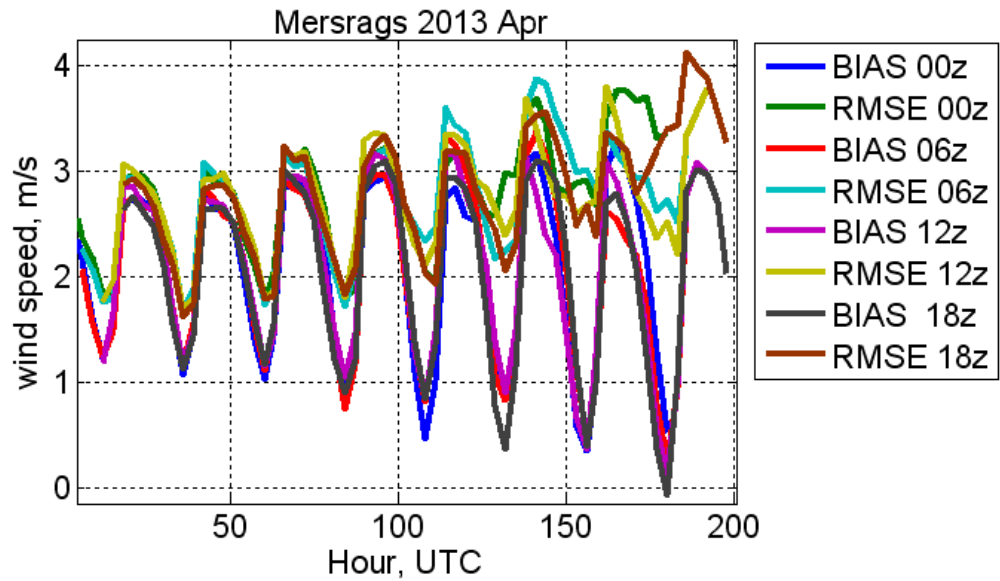
3.15. att. DMI vēja ātruma prognožu a) verifikācija un b) ik stundas vidējo vērtību salīdzinājums, Skulte, 2012. gada septembris.

Analizējot GFS modeļproгноžu rezultātus, novērojamas daudzas līdzības ar DMI vēja verifikācijas rezultātiem, kas sniedz papildus argumentu par to, ka modeļu atšķirība no novērojama ir izskaidrojama ar ko citu, nevis modeļa nepilnībām.

Līdzīgi kā DMI gadījumā novērojama ievērojama atšķirība starp iekšzemes stacijām, piemēram, Bausku (3.16. att.), un piejūras stacijām, piemēram, Mērsragu (3.17. att.) - iekšzemes stacijās diennakts cikla ietekme ir komplicētāka - lai arī tas joprojām ir novērojams, tam ir vairāki minimumi un maksimumi, bet piejūras stacijās viennozīmīgi var apgalvot, ka naktis ir vislielākais BIAS, bet dienas vidū - vismazākais.



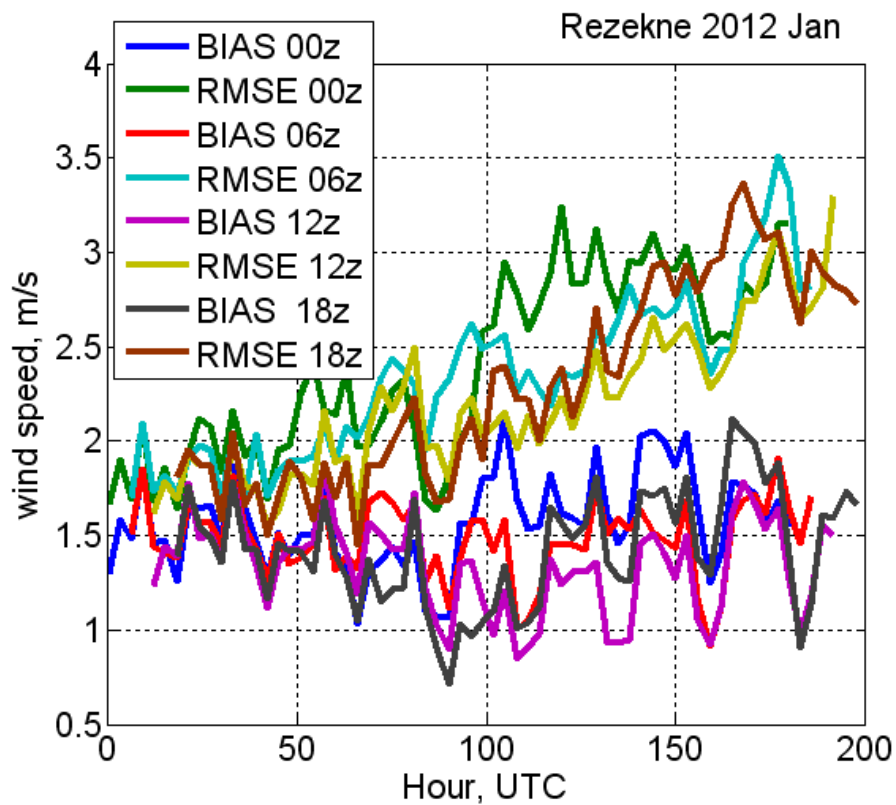
3.16. att. GFS vēja ātruma prognožu verifikācija, Bauska, 2013. gada aprīlis.



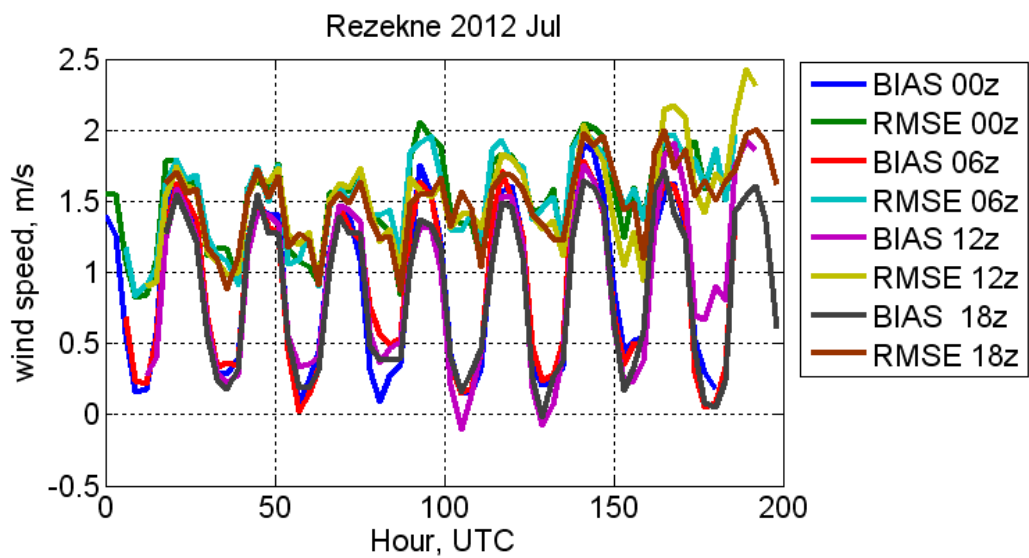
3.17. att. GFS vēja ātruma prognožu verifikācija, Mērsrags, 2013. gada aprīlis.

Atšķirībā no temperatūras, ne vienmēr var apgalvot, ka vēja ātruma BIAS un RMSE ir viegli novērojams diennakts cikls, un šāda rakstura kļūdu periodiskums ir retāks ziemā nekā vasarā. Tāpat ir arī novērojama BIAS sezonālitate, tas ir, BIAS ir līdzīgs dažādu gadu vienos un tajos pašos mēnešos.

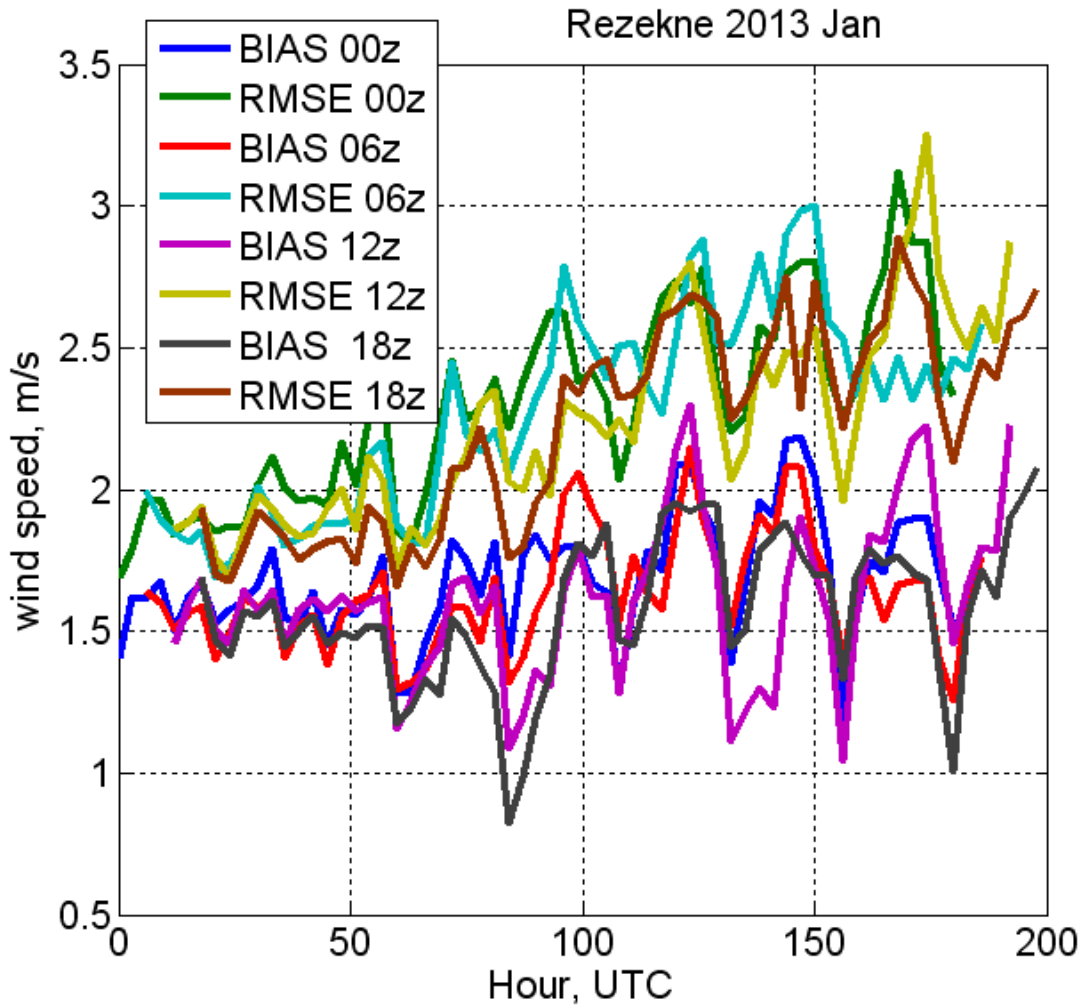
Aplūkojot konkrētus piemērus, piemēram, kļūdas Rēzeknes novērojumu stacijā janvārī un jūlijā (3.18. att. - 3.20. att.) ir redzams gan tas, ka periodiskums ir mazāk izteikts ziemā, gan arī tas, ka 2012. gada un 2013. gada janvārī BIAS izskatās līdzīgi. Papildus tam konstatēta arī sagaidāmā RMSE vērtības palielināšanās jo lielāks laiks ir pagājis no prognozes izdarīšanas brīža, jo ilgākam laikam uz priekšu prognoze tiek veikta. Skaitliskā kļūda ir lielāka janvārī - sasniedzot līdz pat 3 m/s 7 dienu prognozei, kas ir saprotami, ņemot vērā to, ka ziemā kopumā vēja ātrumi tipiski ir lielāki kā vasarā.



3.18. att. GFS vēja ātruma prognožu verifikācija, Rēzekne, 2012. gada janvāris.



3.19. att. GFS vēja ātruma prognožu verifikācija, Rēzekne, 2012. gada jūlijs.



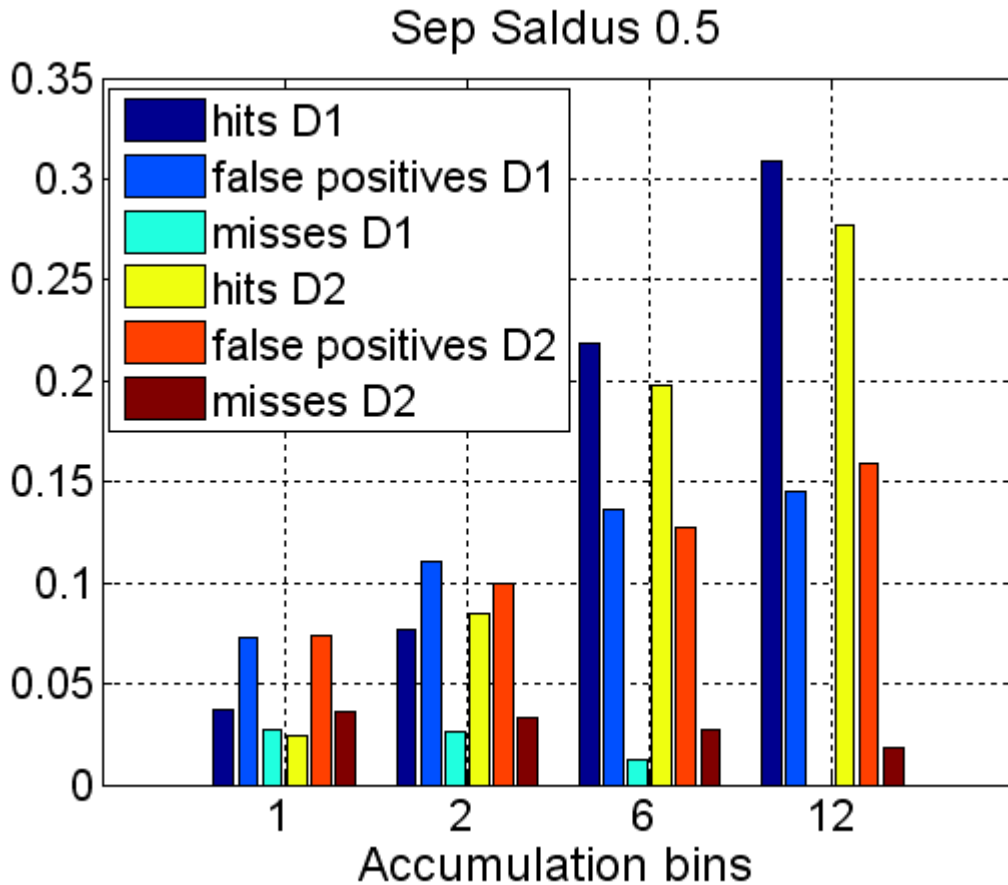
3.20. att. GFS vēja ātruma prognožu verifikācija, Rēzekne, 2013. gada janvāris.

Līdzīgi kā temperatūras verifikācijas gadījumā, arī vēja ātruma verifikācija liecina par sistemātiskas kļūdas esamību un to, ka šādu kļūdu ir iespējams labot, veicot modeļprognožu statistisko apstrādi. Atšķirībā no gaisa temperatūras verifikācijas, veicot vēja ātruma verifikāciju, BIAS gandrīz vienmēr tika novērots pozitīvs. Tas nozīmē, ka, veidojot statistikas metodi pēcapstrādei, tā nav jāizstrādā katrai stacijai, bet ir iespējams dalījums, piemēram, tikai piejūras un iekšzemes stacijās. Tomēr, tāpat kā gaisa temperatūras gadījumā, arī vēja ātruma gadījumā būtu jāņem vērā gan mēnesis, gan iespējams dienas stunda, jo īpaši vasaras mēnešos.

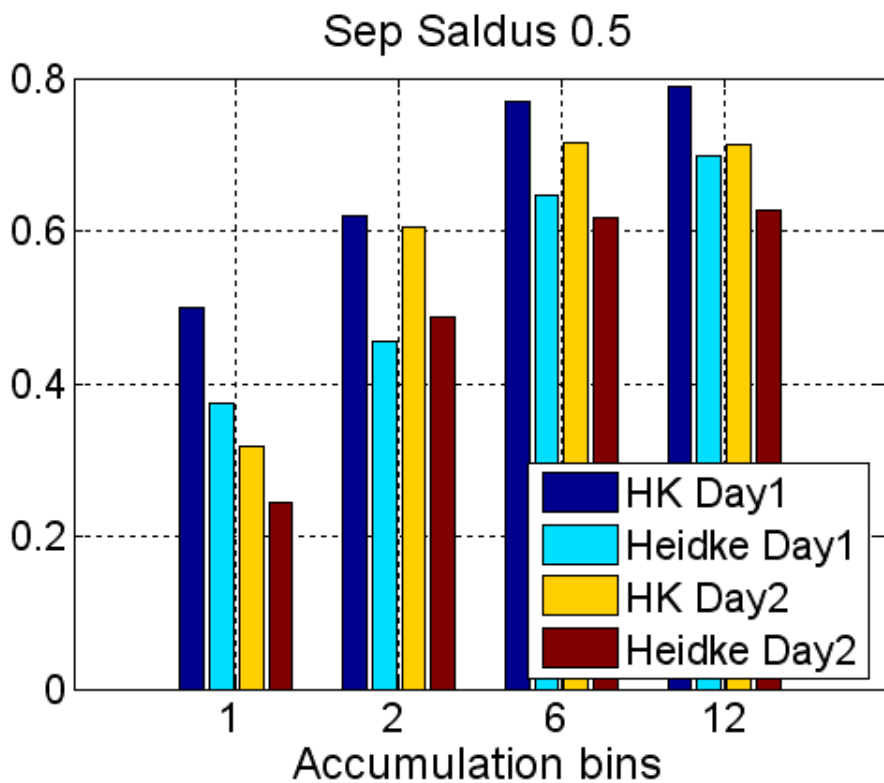
NOKRIŠŅI

Veicot verifikāciju nokrišņu modeļprognozēm pret LVĢMC novērojumiem, tika izdarīti sekojoši secinājumi:

Ja apskata iespējamību tabulu (3.21. att., 3.23. att., 3.24. att.), tad lielākajā daļā gadījumu (apskatot verifikācijas grafikus pa mēnešiem, stacijām, dažādiem lietus intensitātes sliekšņiem un laika intervāliem, kuros tiek veikta lietus daudzuma akumulācija), bija redzams, ka vislielāko iespējamības tabulas daļu sastādīja "pareizs nelīst" situācijas. Gan DMI, gan GFS verifikācijai ir redzams, ka pie lielāka stundu skaita, kura summārais lietus daudzums tiek prognozēts, uzlabojas trāpījumu skaits, samazinās garām palaisto notikumu skaits, taču vienlaicīgi arī palielinās viltus trauksmju skaits. Šeit parādās kvalitātes novērtējumu nozīme (3.21. att. - 3.26. att.), jo iespējamību tabulas rādītājos ir novērojamas pretējas tendences - ir labi, ka palielinās trāpījumu skaits, taču slikti, ka palielinās viltus trauksmju skaits. Kvalitātes novērtējumi, kas raksturo prognozi ar vienu skaitli (3.22. att., 3.25. att., 3.26. att.), atļauj salīdzināt šīs dažādās tendences un secināt, ka kopējā prognozes kvalitāte uzlabojas, palielinot akumulācijas laiku.

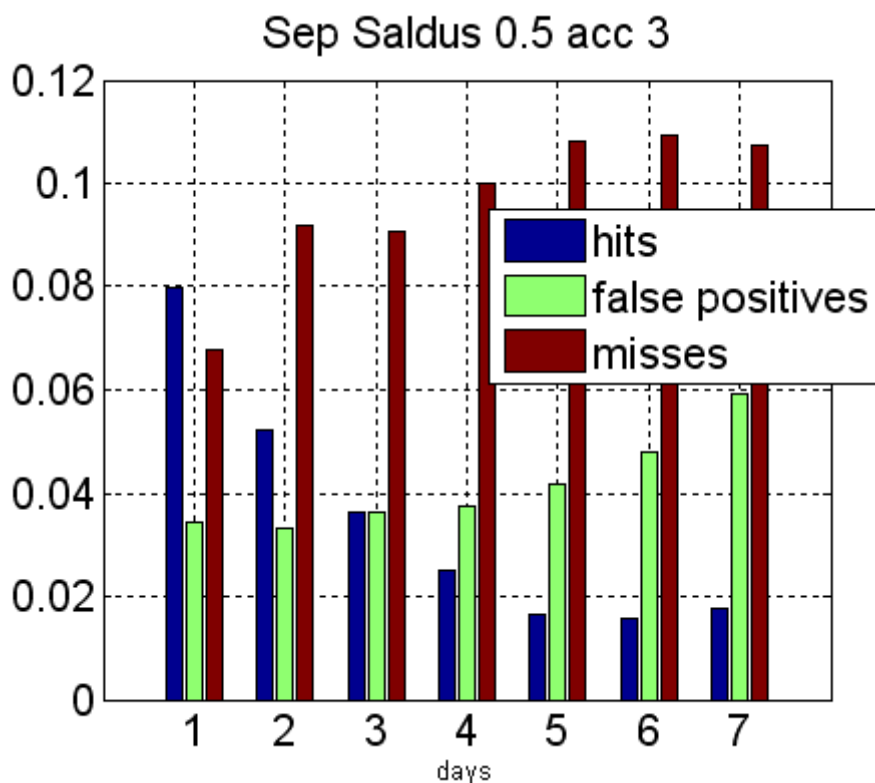


3.21. att. DMI lietus prognoze, Saldus 2013. gada septembris. Iespējamību tabulas vērtības (izņemot "pareizs nelīst"). Sliekšnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 1h, 2h, 6h un 12h.

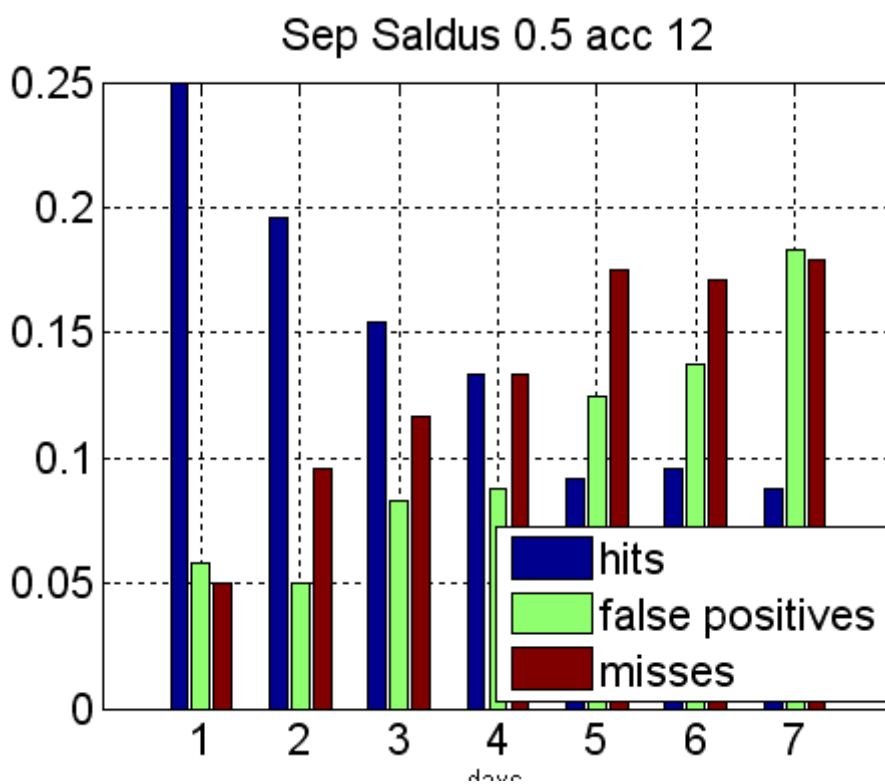


3.22. att. DMI lietus prognoze, Saldus, 2013. gada septembris. Heidkes kvalitātes novērtējums un Hansena - Kuipera diskriminants. Sliexnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 1h, 2h, 6h un 12h.

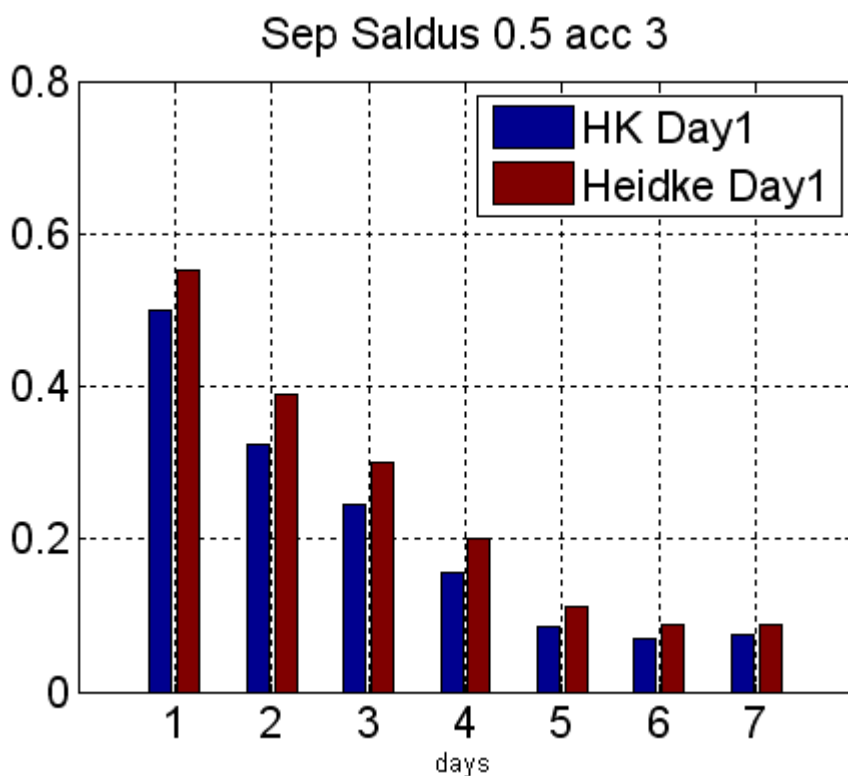
Gan DMI, gan GFS datiem var secināt, ka prognozes kvalitāte stipri samazinās katrai nākošajai prognozes dienai. GFS gadījumā kvalitātes novērtējumu vērtības 7. dienai nav ļoti atšķirīgas no nulles, kas norāda ka prognozes kvalitāte nav daudz labāka kā gadījuma rakstura prognozei (3.25. att.).



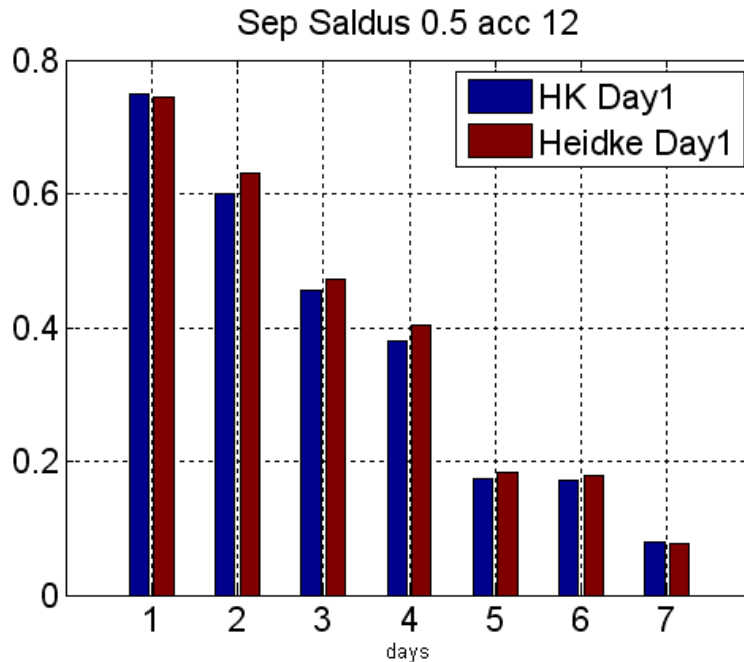
3.23. att. GFS lietus prognoze, Saldus, 2013. gada septembris. Iespējamību tabulas vērtības (izņemot "pareizs nelīst"). Sliksnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 3h.



3.24. att. GFS lietus prognoze, Saldus, 2013. gada septembris. Iespējamību tabulas vērtības (izņemot "pareizs nelīst"). Sliksnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 12h.

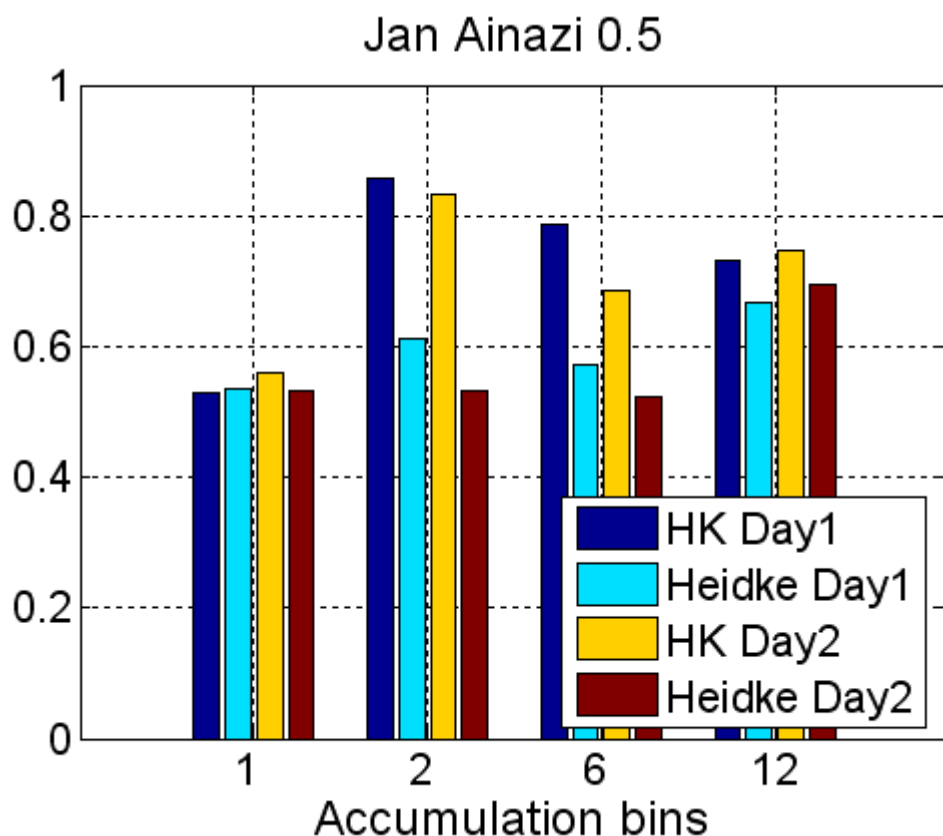


3.25. att. GFS lietus prognoze, Saldus, 2013. gada septembris. Heidkes kvalitātes novērtējums un Hansena - Kuipera diskriminants. Slieksnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 3h.

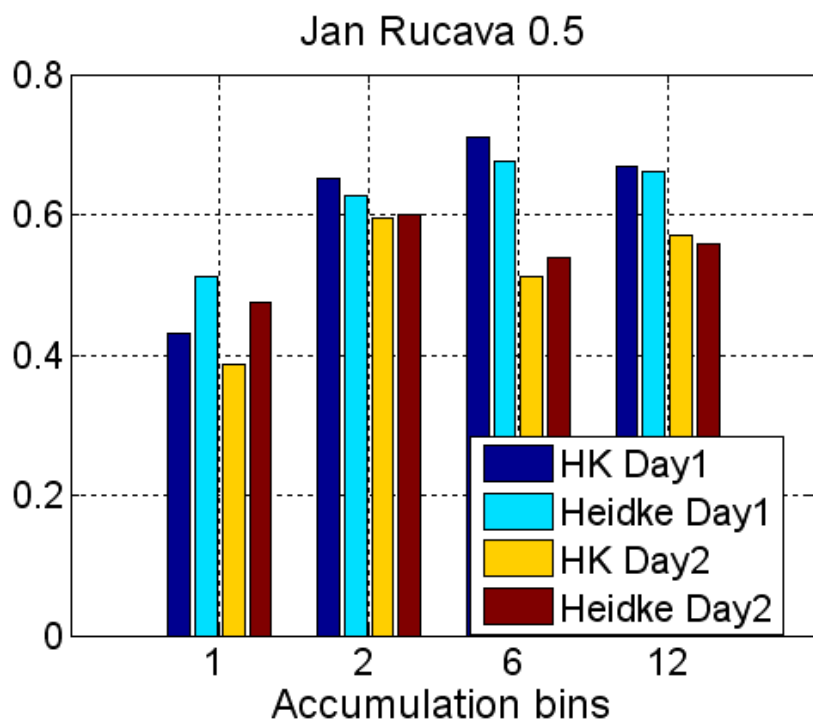


3.26. att. GFS lietus prognoze, Saldus, 2013. gada septembris. Heidkes kvalitātes novērtējums un Hansena - Kuipera diskriminants. Slieksnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 12h.

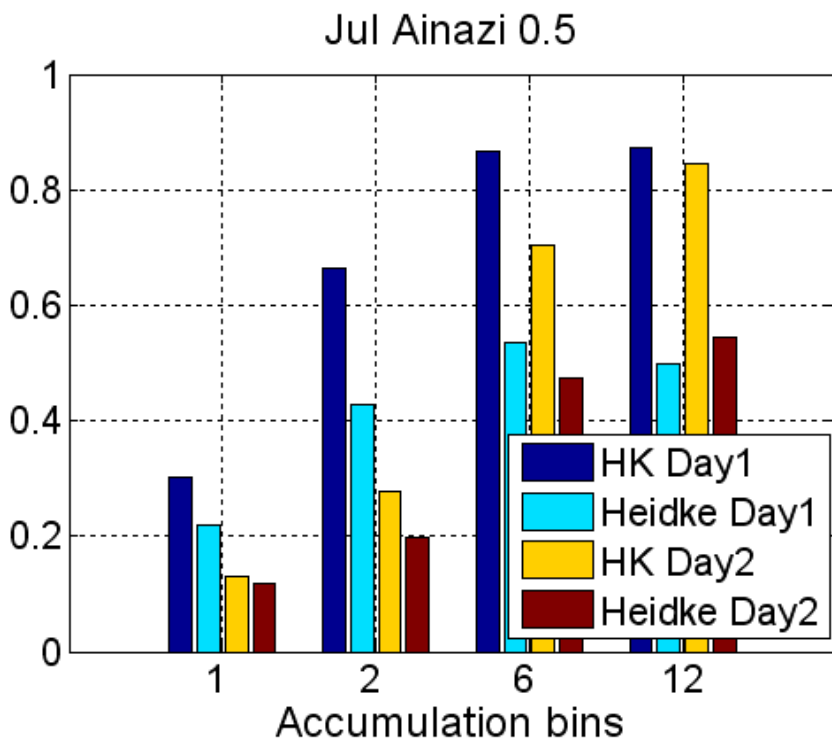
No meteoroloģijas zināms, ka lietus vasarā ir saistīts ar konvektīvajiem procesiem, kuru tipiskais telpas mērogs ir mazāka, un līdz ar to nokrišņi tiek uzskatīti par grūtāk prognozējamiem. Tāpēc atbilstoši sagaidāmajam DMI prognožu kvalitāte ir viennozīmīgi labāka janvārī (3.27. att., 3.28. att.) kā jūlijā (3.29. att., 3.30. att.). Jūlijā arī novērojams lielāks kvalitātes uzlabojums atkarībā no nokrišņu daudzuma akumulācijas laika. Janvārī novērojama mazāka mainība rezultātu kvalitātē starp stacijām (piemēram, Ainaži - 3.27. att., un Rucava 3.28. att.) kā jūlijā. Taču jāņem vērā arī, ka ir novērojama atšķirība starp dažādiem gadiem (3.30. att., 3.31. att.), un korektai situācijas novērtēšanai būtu jāanalizē meteoroloģiskā situācija dažādos gados.



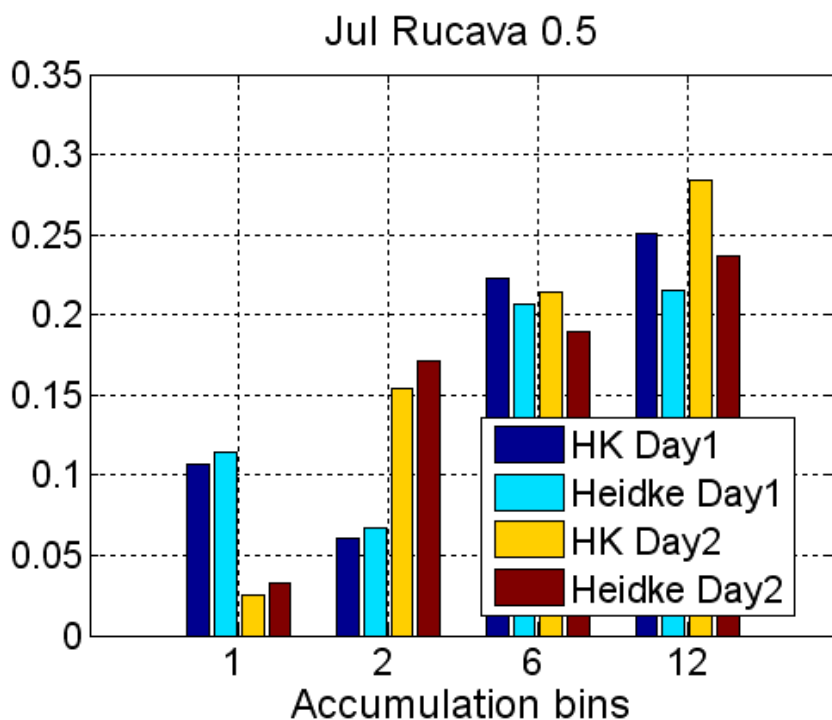
3.27. att. DMI lietus prognoze, Ainaži, 2013. gada janvāris. Heidkes kvalitātes novērtējums un Hansena - Kuipera diskriminants. Sliexnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 1h, 2h, 6h un 12h.



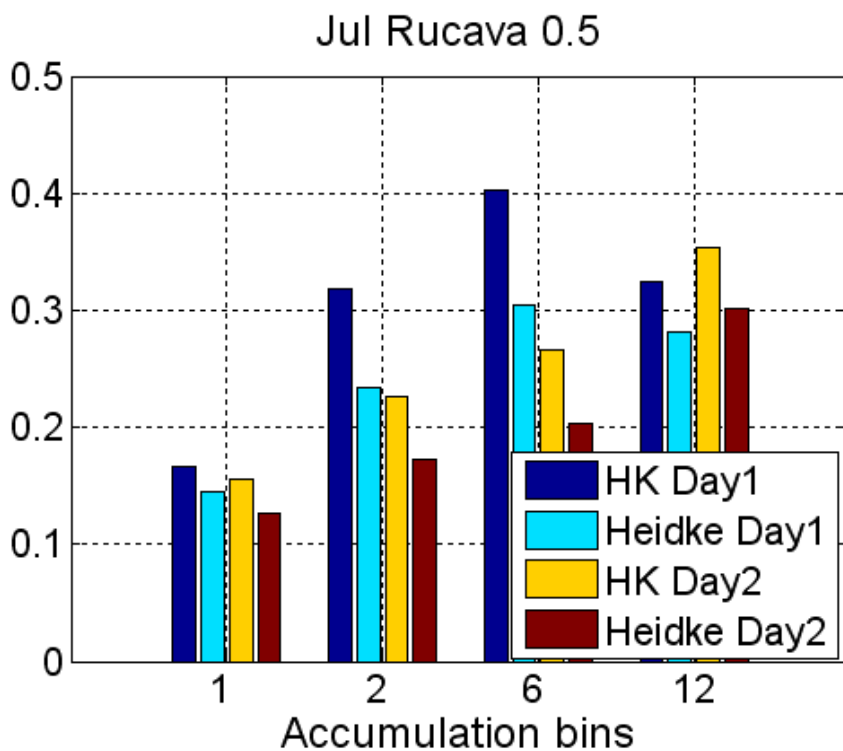
3.28. att. DMI lietus prognoze, Rucava, 2013. gada janvāris. Heidkes kvalitātes novērtējums un Hansena - Kuipera diskriminants. Sliexnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 1h, 2h, 6h un 12h.



3.29. att. DMI lietus prognoze, Aināži, 2013. gada jūlijs. Heidkes kvalitātes novērtējums un Hansena - Kuipera diskriminants. Sliexnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 1h, 2h, 6h un 12h.

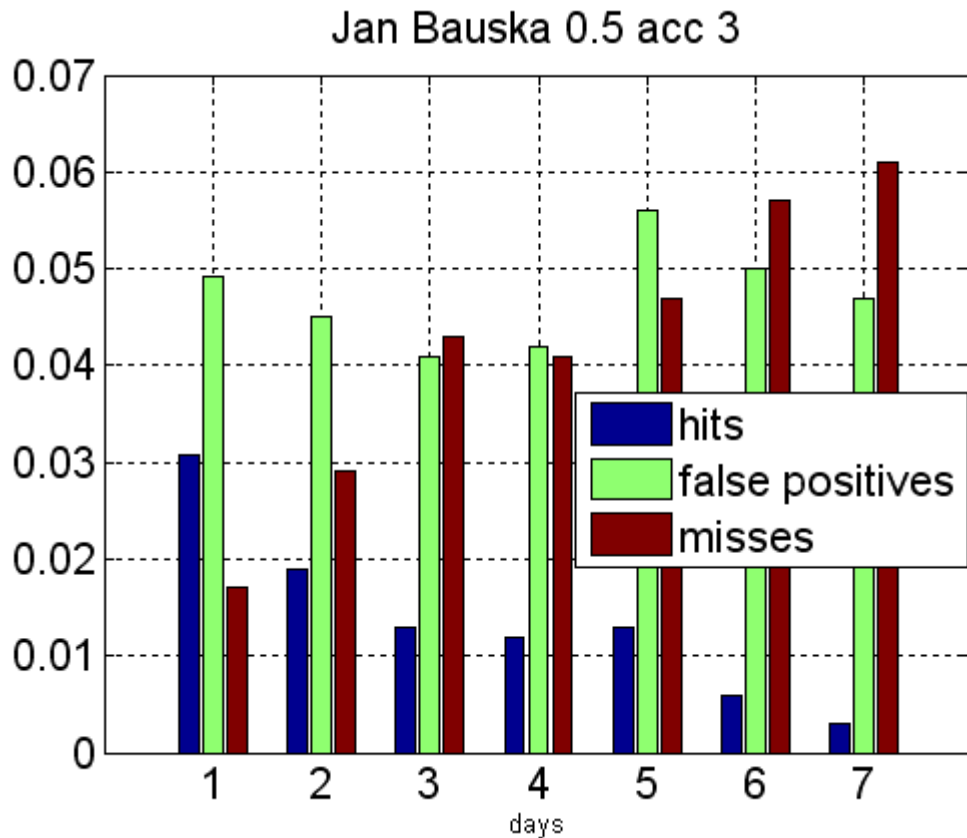


3.30. att. DMI lietus prognoze, Rucava, 2013. gada jūlijs. Heidkes kvalitātes novērtējums un Hansena - Kuipera diskriminants. Sliexnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 1h, 2h, 6h un 12h.

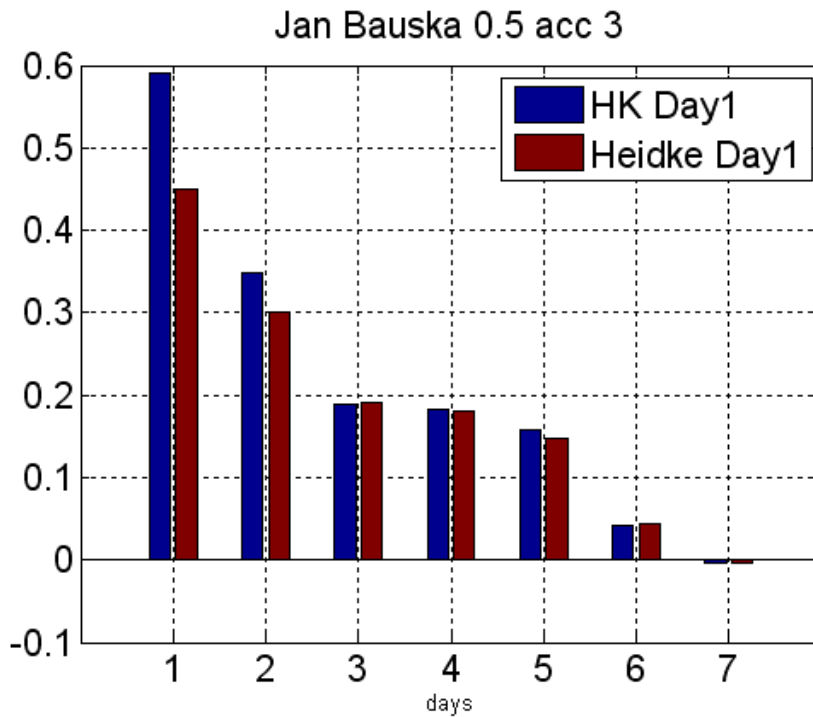


3.31. att. DMI lietus prognoze, Rucava, 2012. gada jūlijs. Heidkes kvalitātes novērtējums un Hansena - Kuipera diskriminants. Sliexnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 1h, 2h, 6h un 12h.

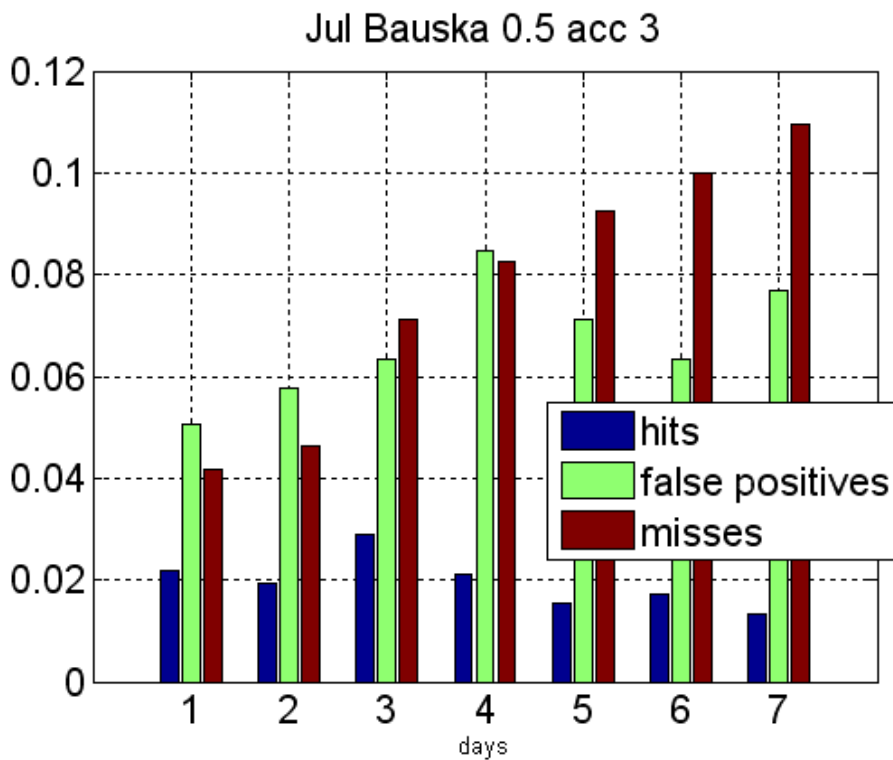
GFS nokrišņu prognožu kvalitāte (3.32. att. - 3.35. att.) ir sliktāka kā DMI prognožu kvalitāte, it īpaši vēlākajās prognozes dienās. Tikai ziemā pirmajai prognozes dienai (3.32. att.) tas ir salīdzināms ar DMI rezultātiem. Vasarā un visās pārējās prognozes dienās ziemai kvalitātes novērtējumi samazinās zem 30% un tuvojas nullei. Iespējamību tabulas vērtības (3.32. att., 3.34. att.) norāda uz lielu viltus trauksmju skaitu.



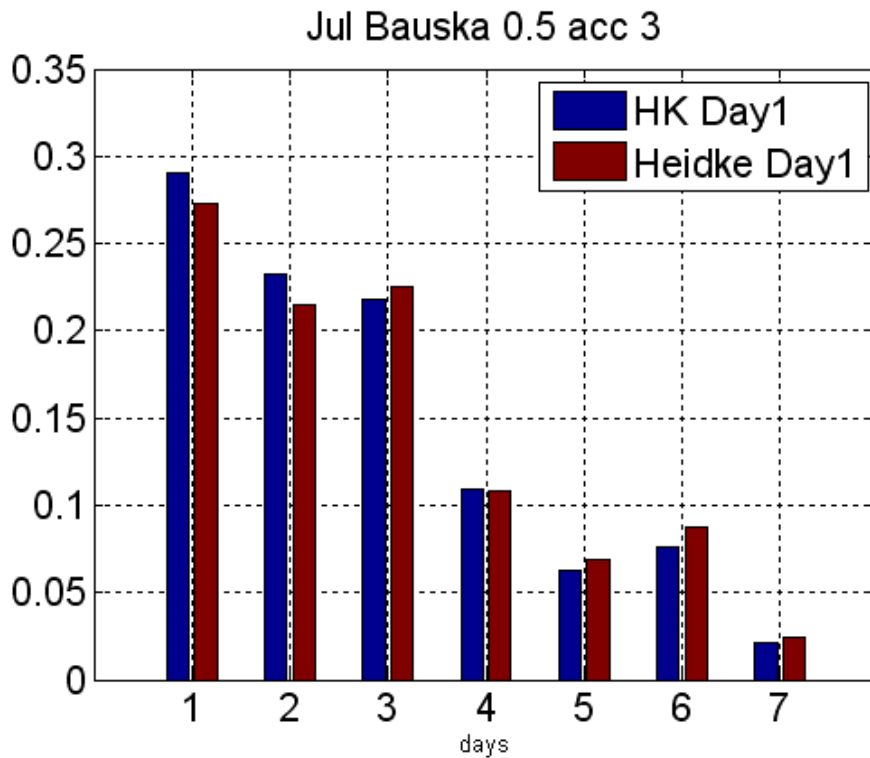
3.32. att. GFS lietus prognoze, Bauska, 2013. gada janvāris. Iespējamību tabulas vērtības (izņemot "pareizs nelīst"). Sliksnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 3h.



3.33. att. GFS lietus prognoze, Bauska, 2013. gada janvāris. Heidkes kvalitātes novērtējums un Hansena - Kuipera diskriminants. Sliekšnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 3h.

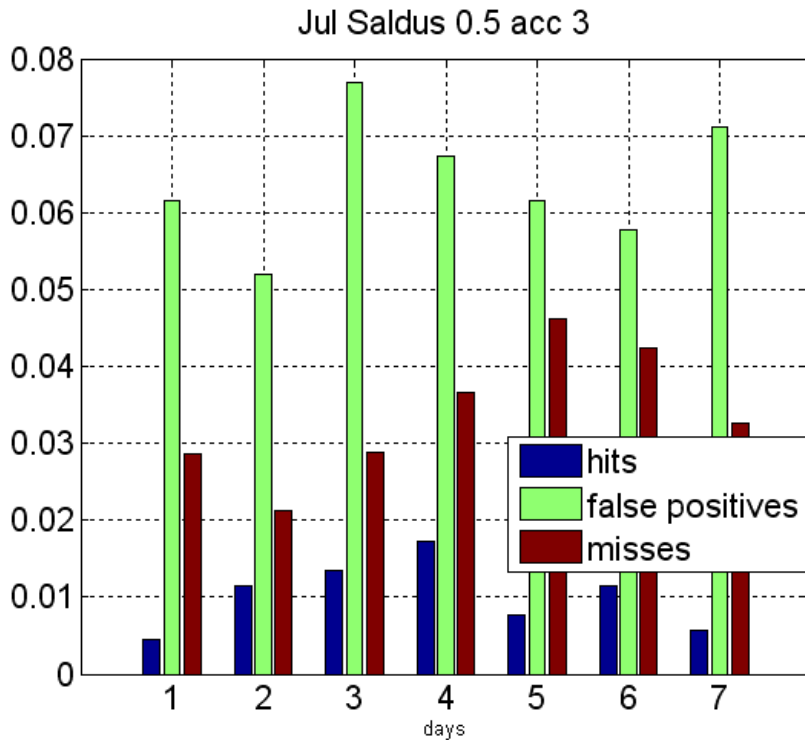


3.34. att. GFS lietus prognoze, Bauska, 2013. gada jūlijs. Iespējamību tabulas vērtības (izņemot "pareizs nelist"). Sliekšnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 3h.

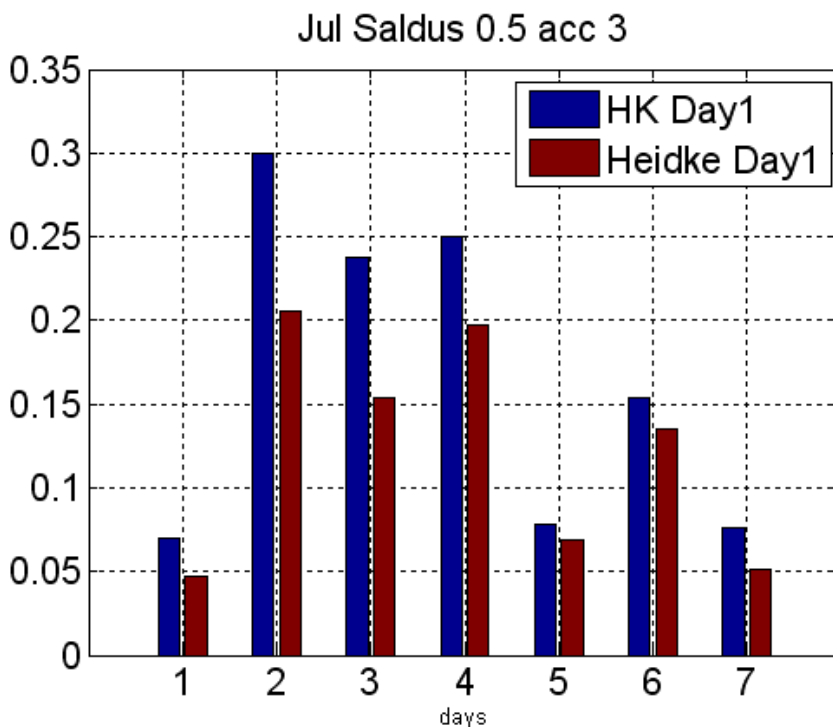


3.35. att. GFS lietus prognoze, Bauska, 2013. gada jūlijs. Heidkes kvalitātes novērtējums un Hansena - Kuipera diskriminants. Sliekšnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 3h.

Turpmākajos pētījumos būtu nepieciešams pievērst uzmanību dažādām anomālijām, ko iespējams novērot datos, lai gūtu labāku ieskatu par modeļu darbības īpatnībām. Piemēram, 2013. gada jūlijā Saldum prognozes pirmajai aprēķinu dienai bija sliktākas kā pārējām prognozes dienām (3.36. att., 3.37. att.).



3.36. att. GFS lietus prognoze, Saldus, 2013. gada jūlijs. Iespējamību tabulas vērtības (izņemot "pareizs nelīst"). Sliekšnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 3h.



3.37. att. GFS lietus prognoze, Saldus, 2013. gada jūlijs. Heidkes kvalitātes novērtējums un Hansena - Kuiper diskriminants. Sliekšnis - 0.5 mm/h, lietus akumulācija - 3h.

4. SECINĀJUMI

Iepriekš apskatītie rezultāti var sniegt tikai nelielu ieskatu kompleksajā problemātikā, kas ir saistīta ar meteoroloģisko prognožu verifikāciju. Var redzēt, ka prognožu kvalitāte ir atšķirīga dažādiem meteoroloģiskajiem lielumiem, atkarīga ne tikai no ģeogrāfiskā novietojuma vai gadalaika, bet arī no diennakts laika. Dažkārt ir nozīmīga sistemātiska atšķirība starp novērojumiem un prognozēm (BIAS), dažkārt to vidējo vērtības sakrīt un BIAS ir tuvs nullei.

Apskatot dažādos verifikācijas parametrus, ir skaidrs, ka nevar viennozīmīgi izvēlēties vienu skalāru parametru, kas labi raksturotu prognozes kvalitāti, līdz ar to verifikācijas pieeju, kuru varētu nosaukt par „labāko” var nosacīti definēt tikai katram atsevišķam prognožu produktam, kuram ir iespējams noteikt šaurāku mērķi un attiecīgi veikt specifiskāku verifikāciju.

Dažas no novērotajām prognožu īpatnībām sniedz idejas par turpmāko darbu pie prognožu verifikācijas, piemēram, apskatīt atsevišķi situācijas kas ir piesaistītas nevis kalendārajam mēnesim, bet gan no meteoroloģijas puses definētai situācijai – piemēram, piejūras stacijās apskatīt atšķirību starp aizsalušu un atklātu Baltijas jūru.

5. CITĒTIE DARBI

1. "Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs" mājas lapa. [Tiešsaiste] [Citēts: 2014. gada 12. jūnijs.] <http://www.meteo.lv/meteorologija-datu-meklesana/?nid=461>.
2. *Forecast Verification. A Practitioner's Guide in Atmospheric Sciences.*: Wiley, 2003.
3. **Wilks, Daniel S.** *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences.* Third Edition. s.l. : Academic Press, 2011.